

1501

CHEMIE DER ERDE

ZEITSCHRIFT DER CHEMISCHEN
MINERALOGIE, PETROGRAPHIE,
GEOLOGIE UND BODENKUNDE

UNTER MITWIRKUNG VON

Dr. E. BLANCK

o. ö. PROF. DER AGRIKULTURCHEMIE UND BODENKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

HERAUSGEGEBEN VON

Dr. C. W. CORRENS Dr. Dr. h. c. G. LINCK

o. PROF. DER MINERALOGIE U. PETROGRAPHIE
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

o. ö. PROF. EM. DER MINERALOGIE U. GEOLOGIE
AN DER UNIVERSITÄT JENA

FÜNFZEHNTER BAND.

MIT 58 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 7 TAFELN



JENA

VERLAG VON GUSTAV FISCHER

1945

SWETS & ZEITLINGER N.V.
AMSTERDAM

CHEMIE DER ERDE

ZEITSCHRIFT DER CHEMISCHEN
MINERALOGIE, PETROGRAPHIE,
GEOLOGIE UND BODENKUNDE

UNTER MITWIRKUNG VON

Dr. E. BLANCK

o. ö. PROF. DER AGRIKULTURCHEMIE UND BODENKUNDE
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

HERAUSGEGEBEN VON

Dr. C. W. CORRENS Dr. Dr. h. c. G. LINCK

PROF. DER MINERALOGIE U. PETROGRAPHIE
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

o. ö. PROF. EM. DER MINERALOGIE U. GEOLOGIE
AN DER UNIVERSITÄT JENA

FÜNFZEHNTER BAND.

MIT 58 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 7 TAFELN



JENA

VERLAG VON GUSTAV FISCHER

1945

SWETS & ZEITLINGER N.V.
AMSTERDAM

Alle Rechte vorbehalten

Printed in Germany

Nachgedruckt mit Genehmigung des VEB Gustav Fischer Verlags.
Swets & Zeitlinger N.V. — Amsterdam, 1966

Inhaltsübersicht.

Erstes/Zweites Heft.

	Seite
H. Seifert, Über den Gehalt an Phosphorsäure und Titansäure in mediterranen Gesteinen. Mit 3 Abbildungen im Text	I
Isa Kubach, Mineralogische Untersuchung einiger Lößbodenprofile Mitteldeutschlands. Mit 6 Abbildungen im Text	7
F. K. Hartmann, Über die Bedeutung der mineralogischen Analyse bei der Kennzeichnung der Standorte von Waldgesellschaften und ihrer Leistungsfähigkeit.	26
R. Vogel, Emsland, ein neuer Eisenmeteorit. Mit Tafel I bis IV	52
Hermann Jung, Untersuchungen über ein Lößvorkommen bei Derenburg a. Harz. Mit 26 Abbildungen im Text	66
 Besprechungen:	
Handbuch der analytischen Chemie. III. Teil, Bd. III	167
Arnold Eucken, Grundriß der physikalischen Chemie. 5. Auflage	168

Drittes Heft.

E. Blanck u. R. Melville, Untersuchungen über die rezente und fossile Verwitterung der Gesteine innerhalb Deutschlands, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der alten Landoberflächenbildungen der deutschen Mittelgebirgsländer. Teil VI	169
Josef Hoffmann, Uran in Kohlen und Torf	277
O. H. Erdmannsdörffer, Hydrothermale Zwischenstufen im Kristallisationsablauf von Tiefengesteinen. Mit 10 Abbildungen im Text	283
 Besprechungen:	
Gmelins Handbuch der organischen Chemie	296
H. Cloos, Geologie	297

Viertes Heft.

	Seite
F. K. Drescher-Kaden, Zur Bildungsweise dioritischer Gesteine	299
Miklós Vendel, Zur Bestimmung der Lichtbrechung silikatischer Tonminerale. Mit 1 Abbildung im Text . .	325
R. Vogel, Über Troilit. Mit 6 Abbildungen im Text und Tafel V—VII	371
Hermann Jung und Leni Neuhaus, Untersuchungen über Teratolith (Eisensteinmark) von Planitz i. Sa. . .	389
L. Tokody, Über die Lumineszenz des Cerussits	395
E. Dittler und U. Hofmann, Ein neues Montmorillonitvorkommen. Mit 4 Abbildungen im Text	406
Raphael Ed. Liesegang, Geologische Bänderungen durch Diffusion und Kapillarität	420
Wolf von Engelhardt, Zur Bildung von Gips aus Anhydrit. Mit 2 Abbildungen im Text	424
 Besprechungen:	
Fritz Kubach, Das Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik	429
Hans Schneiderhöhn, Erzlagerstätten	430
Chr. Carl Beringer, Geologisches Wörterbuch. 2. Aufl.	432
A. Eucken, Lehrbuch der chemischen Physik. 2. Aufl., II. Band	433
Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. 8. Aufl. . .	434

Über den Gehalt an Phosphorsäure und Titansäure in mediterranen Gesteinen.

Von

H. Seifert in Halle (Saale).

Mit 3 Abbildungen im Text.

Vor einiger Zeit hatte A. Kind in dieser Zeitschrift (1) einige geochemische Betrachtungen über den Gehalt der Eruptivgesteine an Phosphorsäure angestellt. Aus etwa 500 Analysen des Kompendiums von E. Tröger (2) errechnete Mittelwerte von P_2O_5 für Gruppen einer atlantischen und einer pazifischen Gesteinsreihe wurden gegen die SiO_2 , beide in Gewichtsprozenten, in einem Diagramm aufgetragen (Abb. 10 in (1)). Das Ergebnis war für die atlantischen Gesteine eine vom sauren zum basischen Pol hin stetig ansteigende und in ihrer Steigung zunehmende Kurve, von Werten um 0,2 bei etwa 75% SiO_2 bis auf etwa 1,9 bei etwa 38% SiO_2 . Demgegenüber trat bei den pazifischen Gesteinen bemerkenswerterweise ein recht unsicheres Kurvenbild heraus; Änderungen im P_2O_5 -Gehalt sind im ganzen Bereich überhaupt nur klein mit $0,4 \pm 0,2$, ein schwaches Maximum schien im intermediären Gebiet zu liegen.

Kind hatte auch die Titansäure in seine Untersuchungen einbezogen. Doch wurde nur in einem einzigen Diagramm für sämtliche Gesteine (Abb. 9 in (1)) gezeigt, daß TiO_2 , in Gewichtsprozenten gegen die von SiO_2 wie vorher aufgetragen, ein der P_2O_5 im allgemeinen symbates Verhalten zeigt. Es wurde der Schluß gezogen, daß daher die Alkaligesteine wie die an Phosphorsäure, so auch die an Titansäure reichsten seien. Pazifische Gesteine scheinen auch hierin geringe Schwankungen, etwa $0,2 \pm 0,1$, vielleicht mit einem gleichen Maximum bei mittleren SiO_2 -Gehalten, zu besitzen.

Ob die angezeigten Maxima im Gang für die pazifische Sippe reell und nicht nur durch falsche Auswahl und Mittelung vorgetäuscht sind, mag mit Recht gefragt werden. Denn schon früher hatte E. Tröger (2a) selbst, indem er Mittelwerte für die verschiedenen Familien seines Kompendiums bildete, für die genannten Oxyde nur insgesamt „eine schöne gesetzmäßige Abnahme“ mit wachsender Menge SiO_2 verzeichnet, was für die P_2O_5 aber länger als sicher bekannt gelten kann, und

dann ebenfalls festgestellt, daß Alkaligesteine immer reicher an ihnen sind als entsprechend saure pazifische Gesteine.

Die obigen Angaben hatten dazu angeregt, den wegen anderer Untersuchungen erfragten Gehalt mediterraner Gesteine, wenn man diese einmal von den übrigen Sippen trennen will, an Phosphorsäure und Titansäure in der gleichen Weise gesondert zu erfassen und mit dem der übrigen zu vergleichen. Es mag von einigem allgemeineren Interesse sein, das Ergebnis dieser kleinen statistischen Untersuchung kurz bekanntzugeben. Im ganzen wird eine solche provinzielle Untersuchung ungleich vorsichtiger und in ihren Ergebnissen sicherer sein. Eine Mittelwertbildung kommt selbstverständlich dabei nicht in Frage.

Es boten sich dafür an die Highwood Mountains, Montana und die Römische Provinz in Mittelitalien. Die von diesen Gebieten vorliegenden Analysen bieten, wie wohl sie zum Teil nicht ganz jungen Datums sind, den Vorteil, je in sich wesentlich vom gleichen Analytiker zu stammen. Die Highwood Mountains sind von den Mitarbeitern L.V. Pirssons(3) bearbeitet. Das Ergebnis aller Untersuchungen

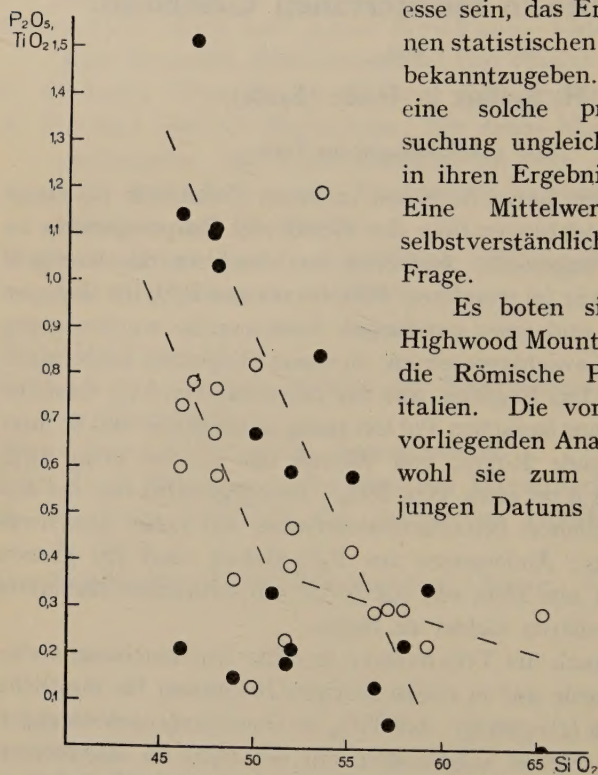


Abb. 1. Phosphorsäure- und Titansäuregehalt der Highwood Mts., Montana (nach Pirsson), in Gewichtsprozenten.
● P₂O₅ ○ TiO₂.

von H. S. Washington über die Römische Provinz findet sich in seiner großen Monographie von 1906 (4) zusammengefaßt; neue Analysendaten nach den Zusammenstellungen in (5), (6), (7), (8), (9), (10), letztere vor allem auf Grund von Analysen von U. Panichi verändern das Bild, wie sogleich bemerkt sei, nicht.

Das Ergebnis der Auswertung für die Highwood Mountains zeigt das Diagramm 1. Es ist das gleiche wie das, was Kind ganz allgemein für atlantische Gesteine fand. Man hat für P₂O₅ einen Abfall von Höchstwerten bei sehr basischen Gesteinen zu niedrigsten am sauren

Pol. Jedoch ist der Abfall erheblich steiler und erreicht sehr niedrige Werte schon viel früher im intermediären Gebiet. Nur 2 oder 3 Gesteine am basischen Ende dieser allerdings kleinen Serie, die man aber wegen ihres so harmonischen Differentiationsverlaufs doch schon gesondert betrachten darf, fallen etwas heraus und haben schon sehr niedrige Gehalte an P_2O_5 .

Trägt man, was wir grundsätzlich für richtiger halten, die Molekularzahlen gegeneinander auf, so zeigt das entsprechende Niggli-Diagramm (Abb. 2) infolge seiner Verzerrung die zu erwartende Abschwächung in der Steilheit der Kurve und eine Verbreiterung des zu konstruierenden Schwankungsbereichs.

Der Gehalt an Titansäure bietet das gleiche Bild. Der Abfall vom basischen zum sauren Pol ist in gewichtsprozent-

scher Darstellung (Abb. 1) schwächer und so, daß die

basischen Gesteine im allgemeinen niedrigere, die sauren höhere Absolutwerte als die P_2O_5 zeigen; die Schwankungsbreite ist kaum größer. Zwei herausfallende Werte gehören nicht denselben Gesteinen an, die bei P_2O_5 die Ausnahme bildeten. Eine bestimmte geologische Ursache, woran zunächst zu denken wäre, dürfte also schwerlich dafür gefunden werden. Die Maximalwerte gehen mit einer Ausnahme kaum über 0,8% TiO_2 hinaus (allerdings liegen ältere Analysen vor!). Die gestrichelt gezeichneten Mittelkurven zeigen das gegenseitige Verhalten beider Oxyde deutlich an.

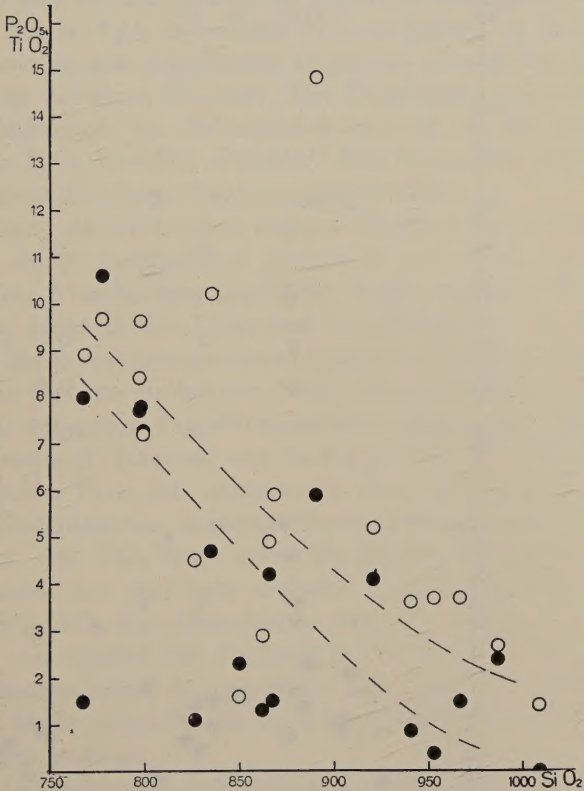


Abb. 2. Phosphorsäure- und Titansäuregehalt der High-wood Mts., Montana (nach Pirsson), in Molekularzahlen. ● P_2O_5 , ○ TiO_2 .

Bei den Molekularzahlen (Abb. 2) gewahrt man jetzt dagegen, daß fast immer der TiO_2 -Wert eines Gesteins höher ist als der für P_2O_5 . Eine Mittelkurve läge etwa parallel und ein wenig über der für P_2O_5 , doch ohne früh praktisch auf Null abzusinken.

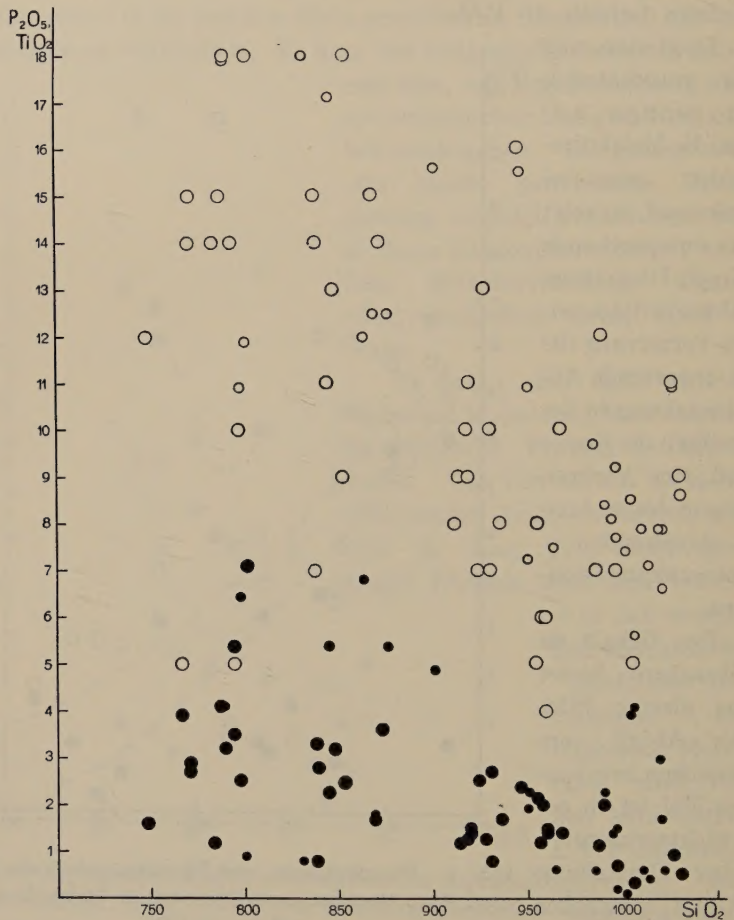


Abb. 3. Gehalte der Gesteine der Römischen Provinz an Phosphorsäure und Titansäure (in Molekularzahlen).

● P_2O_5 , ○ TiO_2 .

Große Kreise: Analysensammlung Washington,
kleine Kreise: Subbezirk Ischia (Narici).

Vergleicht man mit Trögers Mittelwerten für die von ihm zusammengestellten Familien von Alkaligesteinen, so erscheint das ganze Bild deutlich spezifisch und abweichend. Die foyaitisch-theralitische Reihe verhält sich ganz anders. Seine syenitisch-monzonitische Gruppe,

im SiO_2 -Gehalt nicht so tief herabreichend, ist ähnlich, doch in TiO_2 absolut und relativ zum P_2O_5 -Gehalt auch noch abweichend.

Hinsichtlich der Römischen Provinz hatte Washington bereits das Folgende festgestellt. Während der P_2O_5 -Gehalt durchweg relativ niedrig ist und Werte über 0,5 Gew.-% zu den Ausnahmen zählen und während ferner der Gehalt an TiO_2 , charakteristisch für diese Provinz und also deutlich anders als Highwood Mountains, beständig höher als der an P_2O_5 und relativ hoch im ganzen ist, findet im allgemeinen, von einigen Ausnahmen abgesehen, eine stetige Zunahme zu basischen Gesteinen hin statt. Das Diagramm 3 zeigt sehr schön diese Verhältnisse; das Schwankungsintervall ist für TiO_2 ziemlich breit, für P_2O_5 erheblich schmaler. Das Gesamtbild nähert sich dem der atlantischen Serie Trögers unverkennbar.

Die Einbeziehung der zahlreichen neueren Analysen für verschiedene Teilgebiete, durch verschiedene Analytiker ausgeführt, ergibt keine grundsätzliche Verschiebung gegenüber Washingtons Daten. Sie wurden daher nicht in das Diagramm aufgenommen. Nur der Subbezirk Ischia, der ja eine gewisse charakteristische atlantische Note trägt, ist, um das Gesagte zu belegen, nach neueren Analysen von E. Narici (7) (9) mit seinen Projektionspunkten eingetragen. Doch fällt auf, wie einerseits die Häufung sehr niedriger Werte für P_2O_5 viel stärker am basischen Ende ist, andererseits eine beachtliche Zahl von Analysen sehr basischer Gesteine Werte zwischen 0,55 und 0,9 Gew.-% liefert. Die TiO_2 -Werte geben die gleiche breitere Streuung, dazu besonders viele sehr hohe Gehalte $> 1,1\%$ für basische Gesteine unter 50% SiO_2 (für Albanerberge und Vesuvgebiet). Vielleicht liegt hier ein Einfluß des Analytikers vor, zumal Panichis Werte für die Roccamonfina demgegenüber fast sämtlich auffällig niedrig liegen. Es bleibt jedoch für alle Unterbezirke die herausgestellte allgemeine Tendenz gewahrt.

Vor einiger Zeit stellte ich (10) anläßlich petrochemischer Überlegungen über den Bezirk der Roccamonfina eine sehr große Analogie seines Differentiationsbildes zu dem des Typus Highwood-Maros (nach C. R. Burri (11)) fest. Vorliegende kleine statistische Betrachtung ergab demgegenüber für die beiden zwar sehr charakteristischen, doch untergeordneteren Elemente Phosphor und Titan nicht zu übersehende Unterschiede. Periphere mediterrane Magmenherde, sofern wir sowohl für Highwood als auch für Mittelitalien solche im Sinne der früheren Bearbeiter dieser Provinzen annehmen wollen, scheinen sich insgesamt ungleich verhalten zu können und sind nicht in allen Einzelzügen von solchen der Natronsippe zu unterscheiden. Dies ist der einzige vorsichtige Schluß, den, wie ich glaube, die vorliegenden Betrachtungen vorläufig zu ziehen erlauben.

Schriftenverzeichnis

1. Kind, A., *Chemie d. Erde* 12, 50 (1939). — 2. Tröger, E., *Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine*. Berlin 1935. — 2a. Derselbe, *Chem. d. Erde* 9, 286 (1934/35). — 3. Pirsson, L. V., *U. S. Geol. Surv. Bull.* 237. Washington 1905. — 4. Washington, H. S., *The Roman Comagmatic Region*. Washington 1906. — 5. Niggli, P., *Schweiz. Min.-petr. Mitt.* 2, 169 (1922). — 6. Lacroix, A., *Compt. Rend.* 165, 209, 1029 (1917). — 7. Rittmann, A., *Z. f. Vulkanol., Erg.-Bd.* 6. Berlin 1930. — 8. Derselbe, *Ebenda* 15, 8 (1933/34). — 9. Narici, E., *Ebenda* 14, 210 (1931/32); 15, 95 (1933/34). — 10. Seifert, H., *N. Jahrb. Min. Beil.-Bd.* 77A, 277 (1941). — 11. Burri, C. R., *Schweiz. Min.-petr. Mitt.* 6, 115 (1926).

Halle (Saale), im Juli 1942.

Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität.

Mineralogische Untersuchung einiger Lößbodenprofile Mitteldeutschlands.

Von

Isa Kubach, München.

Mit 6 Abbildungen im Text.

Inhaltsverzeichnis: Einleitung. I. Vorbehandlung der Bodenproben und ihre Auszählung. II. Die einzelnen Bodenprofile. 1. Lößboden von Kattenbühl. 2. Löß auf mittlerem Buntsandstein (s_m). 3. Löß auf Granit. 4. Löß auf Basalt. III. Schluß. Literaturverzeichnis.

Die Arbeit wurde mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Untersuchungen von Waldstandorten und Waldtypen im Laboratorium des Instituts für Waldbau I der Universität Göttingen in Hamburg-Harburg durchgeführt. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei an dieser Stelle für die Bereitstellung der Mittel und Apparate bestens gedankt. Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Hartmann, Hann.-Münden, und Herrn Prof. Correns, Göttingen, für mehrfache Anregungen sowie Herrn Dr. Mehmel, Rostock für die Ausführung der röntgenographischen Untersuchung.

Einleitung.

Zur Ergänzung der verschiedenartigen, am Boden durchgeführten Untersuchungsmethoden [5] wurde eine mineralogisch analytische Untersuchung an Bodenprofilen Mitteldeutschlands durchgeführt, die das Ziel hat, aus der mineralogischen Zusammensetzung des Bodens etwas auszusagen über die in ihm enthaltenen Nährstoffreserven. Daß dieser Weg zu Erfolgen führt, zeigen die Arbeiten von Correns und Schlünz [1, 2] und von Engelhardt [3], die nachweisen konnten, daß eine deutliche Abhängigkeit der S-Werte nach Vageler mit dem Montmorillonitgehalt des Bodens vorhanden ist, während die Neubauer-Werte im Zusammenhang stehen mit der Menge der auftretenden Kalimineralien, wobei die Ergebnisse aus der Mineralzusammensetzung der feineren Fraktionen gewonnen wurden.

Da für eine Serienuntersuchung, wie sie als Endziel erstrebt werden soll, um als Ergänzung der übrigen Bodenuntersuchungen im Laboratoriumsbetrieb gemacht werden zu können, eine weitgehende Unterteilung in die verschiedenen Kornklassen zu zeitraubend ist, wurde bei den untersuchten Böden nur die Kornklasse $0,2 - 0,02 \text{ mm}^1$) quanti-

¹⁾ Die für die Korngrößen angegebenen Zahlen bezeichnen stets den Durchmesser.

tativ ausgewertet und nur bei einigen Böden versuchsweise die feinere Fraktion $< 0,02$ mm röntgenographisch bestimmt.

Im folgenden sind die Ergebnisse der mineralogischen Auswertung einiger Lößböden Mitteldeutschlands zusammengestellt. Untersucht wurden: ein reiner Lößboden (A_1 , A_3 , B_1 und B_2), ein Löß über mittlerem Buntsandstein (A_3 und C), Löß über Granit (A_1 und A_3), Löß über 2 verschiedenen Basalten (einmal A_3 und C_1 , einmal A_3 und C) und zum Vergleich hierzu ein Basaltverwitterungsboden (A_3 und C). (Die geologischen Angaben stützen sich auf die von Prof. Dr. F. K. Hartmann, Leiter des Institutes für Vegetations- und Ertragskunde, angelegten Entnahmeformulare.)

I. Vorbehandlung der Bodenproben und ihre Auszählung.

Nach eingehenden Voruntersuchungen, über die hier nicht näher berichtet werden soll, wurde zur Vorbehandlung des Bodens folgende Methode gewählt: 10 g einer Durchschnittsprobe des Bodens, von dem Gesteinsbrocken und Körner > 2 mm durch Sieben entfernt sind, werden mit H_2O_2 versetzt und 4 Stunden auf dem Wasserbad erwärmt und dann durch ein Kollodiumfilter nach W. Ostwald filtriert. Als weiteres wird eine mechanische Trennung der einzelnen Bodenkörnchen vorgenommen derart, daß der mit H_2O_2 behandelte Boden mit einem Gummipistill in einer Porzellanschale verrieben und dann mit $1/100$ n Ammoniak 2 Stunden in einem Zylinder auf einer Schüttelmaschine geschüttelt wird.

Die Behandlung mit H_2O_2 dient vor allem der Lösung der Humusstoffe, die vielfach die Mineralkörnchen umkrusten und verkitten und so eine exakte Trennung unmöglich machen.

In den meisten Fällen reicht diese Vorbehandlung mit H_2O_2 allein, nur bei starker Umkrustung und Verkittung durch Eisenhydroxyde muß der Boden außerdem mit Salzsäure ($s = 1,75$) behandelt werden, die zum mindesten einen Teil der Hydroxyde löst, ohne die Bodenteilchen selbst anzugreifen.

Der Boden wird nun nach seinen Korngrößen in 3 Gruppen unterteilt: Auf einem Sieb von 0,2 mm lichter Weite werden die Körner $> 0,2$ mm zurückgehalten, der Anteil $< 0,2$ mm wird durch wiederholtes Aufschütteln und Sedimentierenlassen im Atterbergzylinder getrennt in die Klassen 0,2—0,02 mm und $< 0,02$ mm. Für letztere Gruppe ist durch die Filtration durch das Ultrafilter 0,00002 mm als untere Grenze gesetzt, so daß nun die 3 Fraktionen 2—0,2 mm, 0,2 mm bis 0,02 mm und 0,02 mm—0,00002 mm bzw. 2000—200 μ , 200—20 μ und 20—0,02 μ vorliegen und nach dem Trocknen bei 105^0 gewogen werden können.

Von ihnen werden in Kanadabalsam eingebettete Körnerpräparate für die mikroskopische Untersuchung hergestellt. Die mikroskopische Untersuchung wird, wie bereits dargelegt, an der mittleren Fraktion 200—20 μ vorgenommen, und zwar werden u. d. M. an 2 Präparaten je 200 Körnchen ausgezählt, also in einer Probe insgesamt 400 Körnchen. Die Identifizierung erfolgt nach den bekannten optischen Methoden nach Farbe, Lichtbrechung, Interferenzfarben, Achsenbild usw.

II. Die einzelnen Bodenprofile.

1. Lößboden von Kattenbühl.

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung des Lößbodens von Kattenbühl — mit weiterer Aufteilung der feinsten Fraktion des A_3 -Horizontes für eine röntgenographische Untersuchung (s. u.) — zeigt Tabelle 1. Die graphische Darstellung der gefundenen Werte (Abb. 1)

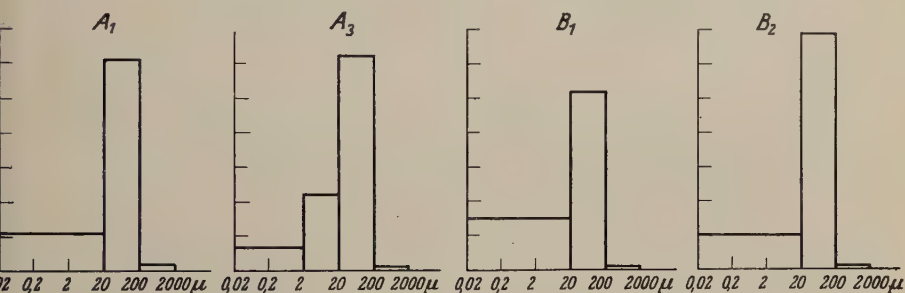


Abb. 1. Korngrößenverteilung in dem Lößboden von Kattenbühl.

wird nach den Vorschlägen von Correns [2] derart vorgenommen, daß der Flächeninhalt des Rechtecks über der zugehörigen Korngrößenklasse ihrem Prozentgehalt entspricht. Es zeigt sich, daß die mittlere Fraktion (200—20 μ) den Hauptanteil an allen Horizonten dieses Bodens hat, sie liegt zwischen 60 und 70 % und fällt nur im B_1 -Horizont auf 52 %. Statt dessen nimmt hier die feinste Fraktion zu.

Tabelle 1.

Korngrößenzusammensetzung nach Atterberg im Lößprofil von Kattenbühl.

	A_1 %	A_3 %	B_1 %	B_2 %
2000—200 μ	1,8	1,1	0,8	0,8
200—20 μ	61,2	63,2	51,7	68,7
20—2 μ	33,0	22,1	45,5	30,0
2—0,02 μ				

Die Ergebnisse der mineralogischen Untersuchung gibt Tabelle 2 wieder. Sie zeigt den Anteil der einzelnen Mineralien in Prozenten, wie er durch die Auszählung von je 400 Körnern gewonnen wurde.

Kurz einiges zur Charakteristik der einzelnen Mineralien: Der Quarz, der in der größten Fraktion überwiegend in gerundeten Körnern vorliegt, zeigt in der mittleren Fraktion alle möglichen Begrenzungsformen. Er ist z. T. wasserklar, z. T. stark durchsetzt von hochlichtbrechenden Schüppchen mit starker Doppelbrechung, wohl Serizit, die ihn oft auch wie ein Kranz umschließen, eine Erscheinung, die auch Engelhardt [3] an Quarzkörnern eines mecklenburgischen Bodenprofils beobachtete. Zuweilen ist auch Biotit dem Quarz angelagert. Weitere Einlagerungen außer dem Serizit sind dunkle, hochlicht- und doppelbrechende Nadelchen, wahrscheinlich Rutil und Turmalin, und Gasbläschen.

Als Alkalifeldspat werden die Feldspäte zusammengefaßt, deren Lichtbrechung unter der des Kanadabalsams liegt. Es findet sich Mikroclin, stellenweise an seiner Gitterlamellierung gut kenntlich, Orthoklas mit verhältnismäßig kleinem Achsenwinkel und ein Albit bis Oligoklasalbit, der zuweilen Zwillingslamellen aufweist. Sie sind oft stark getrübt durch Fe_2O_3 , auch serizitisiert und kaolinisiert (s. u.). Einschlüsse hochlichtbrechender Mineralien sind nicht selten.

An Feldspäten mit einer Lichtbrechung größer als die des Kanadabalsams wurde vorwiegend ein Oligoklas bis Andesin beobachtet mit etwa 30% An. Auch er zeigt oft Zersetzungserscheinungen.

Da, wo diese eine Bestimmung des ursprünglich vorliegenden Feldspates unmöglich machen, mußten die Feldspäte in der Gruppe Zersetzte Feldspäte zusammengefaßt werden.

Schuppige Aggregate mit Aggregatpolarisation, niedriger Doppelbrechung und einer Lichtbrechung von etwa 1,545 lassen zuweilen erkennen, daß sie aus Schüppchen zusammengesetzt sind, die zweiachsig negativ, mit kleinem Achsenwinkel und positiver Längsrichtung, wohl Kaolin sind. Er scheint ein Zersetzungsprodukt vorwiegend der Alkalifeldspäte zu sein.

Der Biotit ist, wenn er frisch vorliegt, bräunlich mit einem Achsenwinkel nahezu 0° . Zuweilen ist er chloritisiert oder auch gebleicht und gleichzeitig isotropisiert.

Der Muskowit ist farblos und klar mit kleinem Achsenwinkel.

Unter den hochlichtbrechenden Mineralien sind Epidot, Hornblende, Turmalin und Zirkon zusammengefaßt.

Als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ umkrustet wurden die Mineralkörner bezeichnet, die infolge einer bräunlichen Kruste undurchsichtig sind und infolgedessen nicht näher bestimmt werden können.

Das selten auftretende Erz, das im Auflicht schwarz erscheint, wurde nicht näher bestimmt.

An organischen Substanzen finden sich zumeist kohlige Stückchen, auch Wurzelfasern. Abgetrennt wurde organische Kieselsäure, wohl die Schale einer Diatomee..

Tabelle 2.

Mineralogische Zusammensetzung des Bodens von Kattenbühl.

	A ₁ %	A ₃ %	B ₁ %	B ₂ %
Quarz	64	63	59	56
Alkalifeldspat	18	17	20	19
Oligoklas	7	9	7	9
zersetzter Feldspat	2	0,5	2	3
Kaolin	0,5	3	1	1
Biotit	—	1	3	2
Muskowit	0,3	1	2	2
hochlichtbr. Min.	5	3	2	5
Fe(OH) ₃ umkrustet	1	1	3	1
Erz	1	1	—	0,3
organ. Substanz	0,3	—	—	—
Diatomeen	—	0,3	—	—
unbestimmbar	1	1	1	2

Die Darstellung der gefundenen und in Tabelle 2 wiedergegebenen Werte gibt Abb. 2. Es wurden als Feldspat die Alkalifeldspäte, Plagioklasse und zersetzten Feldspäte zusammengefaßt, die Kurve für Glimmer enthält Biotit und Muskowit.

Es ergibt sich, daß der Quarz in dem untersuchten Bodenprofil den tiefsten Horizonten zu abnimmt, während Feldspat und Glimmer zunehmen. Dies findet vermutlich darin seine Erklärung, daß in tieferen Lagen die Zersetzung der Feldspäte und Glimmer und damit der Zerfall in die an ihre Stelle tretenden, feineren Mineralien weniger weit fortgeschritten ist.

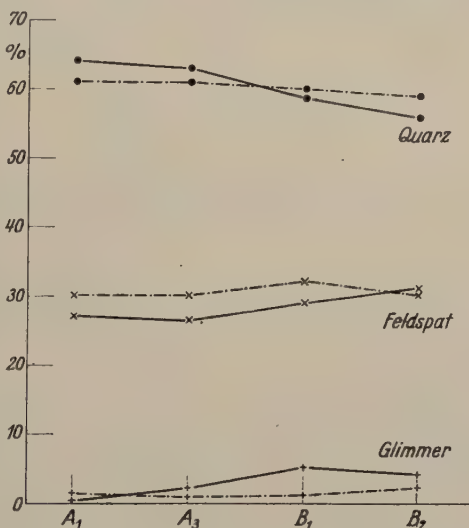


Abb. 2. Mineralverteilung im Löß von Kattenbühl.
 ————— Gesamtboden. - - - - - Rückstand.

Eine andere Art der Darstellung bringt Abb. 6, die zugleich dem Vergleich der verschiedenen Bodenprofile dient. Der prozentuale

Anteil der einzelnen Mineralien wird als Fläche in eine Säule, die den gesamten untersuchten Bodenanteil darstellt, eingetragen. Dabei wurden die Mineralien z. T. zu Gruppen zusammengefaßt, die Plagioklasé mit einer Lichtbrechung über der des Kanadabalsams von den Alkalifeldspäten (s. o.) und zersetzten Feldspäten (z. T. Kaolin) abgetrennt. Unter „Rest“ finden sich so die nur in geringen Mengen auftretenden Bestandteile.

Zur Klärung der Frage, wie weit die vorliegenden Mineralien bei dem bei der rationellen Analyse vorgenommenen Salzsäureauszug in Lösung gehen und wie weit aus ihr ein Rückschluß auf die mineralogische Zusammensetzung des Bodens zu ziehen ist, wurde der Rückstand dieses Auszuges des Lösses von Kattenbühl in gleicher Weise in die 3 Korngrößenklassen zerlegt und wieder die mittlere Fraktion der 4 Horizonte ausgezählt.

Das Ergebnis der Korngrößentrennung (bezogen auf den Gesamtboden) ist in Tabelle 3 zusammengefaßt. Deutlich wird eine Abnahme

Tabelle 3.

Korngrößenverteilung im Rückstand des Salzsäureauszuges des Lößbodens von Kattenbühl, bezogen auf den Gesamtboden.

	A ₁ %	A ₃ %	B ₁ %	B ₂ %
2000—200 μ	1,6	1,2	0,8	0,9
200—20 μ	63,5	62,5	48,0	61,3
20—0,02 μ	22,5	25,5	30,0	22,9

Tabelle 4.

Mineralverteilung im Rückstand des Salzsäureauszuges des Lösses von Kattenbühl.

	A ₁ %	A ₃ %	B ₁ %	B ₂ %
Quarz	61	61	60	59
Alkalifeldspat	21	21	21	20
Plagioklas	7	8	8	7
zersetzter Feldspat	2	1	3	3
Kaolin	1	4	2	3
Muskowit	1	1	1	2
Biotit	0,3	—	vorh.	—
Hochl. Min.	1	3	3	5
Erz	—	—	—	—
org. Substanz	5	0,3	—	0,3
Kieselgel	0,3	0,3	0,3	—
Fe(OH) ₃ umkrustet	—	—	1	0,3
unbestimmbar	1	0,5	1	0,5

der feinsten Fraktion gegenüber dem unbehandelten Boden, die also den Hauptanteil der löslichen Substanzen enthält, während die mittlere Fraktion kaum Änderungen aufweist. Das gleiche bestätigt die mineralogische Untersuchung dieser Fraktion, deren Ergebnisse Tabelle 4 enthält. Der prozentuale Anteil an je 400 ausgezählten Körnchen ist wenig von dem des Gesamtbodens verschieden (Abb. 2 und 6). Auch an der Form und den Zersetzungerscheinungen der Mineralkörner ist kein Unterschied festzustellen.

Aus diesem Grunde war es wichtig, in einem Fall einmal die mineralogische Zusammensetzung der feinsten Bodenanteile festzustellen. Es wurden daher die feinsten Fraktionen zweier Horizonte des Lößbodens von Kattenbühl auf unsere Bitte freundlicherweise von Dr. Mehmel, Mineralogisches Institut Rostock, einer röntgenographischen Untersuchung unterzogen.

Zu diesem Zweck wurde die Probe des A_3 -Horizontes weiter zerlegt in die Korngrößenklassen $20-2 \mu$ und $< 2 \mu$.

Ergebnis (Dr. Mehmel):

Fraktion $20-2 \mu$: „Die Probe zeigt ein Diagramm, dessen Linien stark aufgelöst sind. Dies deutet auf das Vorhandensein von sehr viel grobem Material. Letzteres ist vor allen Dingen Quarz. Durch die Auflösung der Linien wird die Auswertung wesentlich erschwert. Als Ergebnis kann man angeben:

Hauptbestandteil:	Quarz
reichlich:	Biotit
wenig:	Montmorillonit
unsicher:	Feldspat.“

Fraktion $< 2 \mu$: „Die mengenmäßige Abschätzung der Anteile läßt sich in dieser Probe wie folgt angeben:

reichlich:	Quarz
reichlich:	Biotit
wenig:	Muskowit
unsicher:	Montmorillonit.

Im Vergleich mit Probe 1640 I¹⁾ erkennt man, daß nach den feinsten Fraktionen der Quarz abnimmt, Biotit bleibt etwa konstant. Die geringen Mengen von Muskowit sind zweifellos in 1640 I ebenfalls vorhanden, lassen sich aber in der starken Verdünnung nicht mehr erkennen.“

Die Probe des B_2 -Horizontes wurde nicht unterteilt. Leider ist aber diese für eine serienmäßige Untersuchung soviel günstigere Arbeitsweise nicht möglich, da infolge der reichlich vorhandenen großen

¹⁾ Fraktion $20-2 \mu$.

Körner im Röntgenbild eine starke Aufspaltung der Linien vorhanden ist, die die Bestimmung der Bestandteile des feinsten Anteils unmöglich machen.

Ergebnis (Dr. Mehmel): „Die Aufnahme zeigt eine starke Aufspaltung der Linien, was auf die großen Korngrößen zurückzuführen ist. Infolge dieser Aufspaltung ist die Auswertung nicht sehr genau. Vor allem sind bestimmt in den feinsten Anteilen noch andere Bestandteile vorhanden. Nachweisbar sind hier:

Hauptbestandteil: Quarz

wenig: Muskowit.

Eine weitere Aufteilung in feinere Korngrößengruppen ist meines Erachtens unerlässlich.“

Insgesamt ergibt sich für unsere Proben nichts wesentlich Neues durch die röntgenographische Untersuchung der feinsten Fraktionen, sie bestätigt im wesentlichen, was die optische Untersuchung der Fraktion 200—20 μ bereits ergab. (Montmorillonit allerdings wird sich wohl selten in den größeren Fraktionen finden lassen.)

2. Löß auf mittlerem Buntsandstein.

Von einem als „Löß auf mittlerem Buntsandstein“ bezeichneten Profil aus der Gegend von Hofgeismar wurden der A₁, A₃ und C-Horizont untersucht. In der Korngrößenverteilung (Tabelle 5 und Abb. 3)

Tabelle 5.

Korngrößenverteilung im Löß auf mittlerem Buntsandstein,
Hofgeismar.

	A ₁ %	A ₃ %	C %	
2000—200 μ	3,3	1,9	2,4	
200—20 μ	57,8	62,0	65,0	
20—0,02 μ	32,8	35,6	32,4	

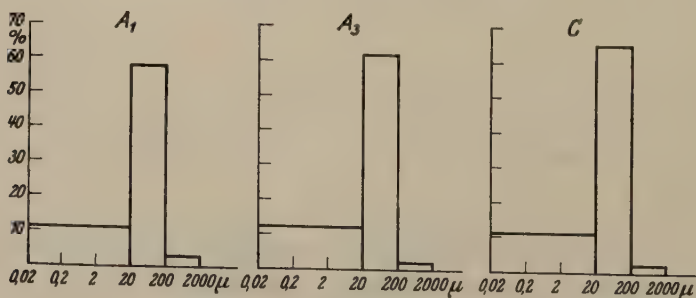


Abb. 3. Löß auf mittl. Buntsandstein, Korngrößenverteilung.

zeigt sich keine große Verschiedenheit zwischen den einzelnen Horizonten, erst u. d. M. wird ein Unterschied in der mittleren Fraktion deutlich. In den oberen Horizonten A_1 und A_3 ist sie im wesentlichen aus Körnchen von einer Größe zwischen 20 und 100 μ zusammengesetzt, während im C-Horizont neben diesen etwa zur Hälfte Körnchen auftreten, die an der oberen Korngrößengrenze dieser Fraktion liegen. Es ist dies dem Einfluß des liegenden Buntsandsteins zuzuschreiben, der sich außerdem durch eine starke Verkrustung der Körnchen durch Eisenhydroxyde bemerkbar macht, die in den oberen Horizonten nur die Körnchen der größten Fraktion 2000—200 μ aufweisen.

Für die Mineralien gilt die für den Löß von Kattenbühl gegebene Charakterisierung, es sind im wesentlichen die gleichen Mineralien mit den gleichen Zersetzungserscheinungen. Bei dem groben Anteil des C-Horizontes fällt die Rundung des Quarzes, ein Vorwiegen von Orthoklas gegenüber Mikroklin bei den Alkalifeldspäten, häufiges Auftreten klarer Muskowitschuppen und die schon erwähnte starke Umkrustung aller Mineralien durch Eisenhydroxyde auf.

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Mineralien am Aufbau der Horizonte in der Fraktion 200—20 μ gibt Tabelle 6 wieder, seine graphische Darstellung Abb. 6. (Für den C-Horizont wurde der prozentuale Anteil der einzelnen Mineralien unter Fortlassung der mit Fe-Hydroxyden umkrusteten Aggregate und Körnchen berechnet.)

Die Zunahme des Quarzes, Abnahme von Feldspat, das starke Anschwellen des Glimmers, vor allem Muskowit, und die Abnahme der

Tabelle 6.

Mineralbestand im Löß auf mittl. Buntsandstein.

	A_1 %	A_3 %	C %
Quarz.	59	61	62
Alkalifeldspat	24	22	16
Plagioklas	8	6	5
zersetzter Feldspat	2	3	7
Kaolin	—	1	0,3
Muskowit	0,3	0,3	7
Biotit	—	—	0,8
hochl. Min.	4	4	0,8
Erz	—	—	—
Fe(OH) ₃ umkrustet	1,5	1,5	—)
org. Substanz	0,7	0,3	0,2
org. SiO ₂	0,5	—	—
unbestimmbar	—	0,5	0,8

1) abgerechnet.

hochlichtbrechenden Mineralien im C-Horizont zeigen die zunehmende Einwirkung des Buntsandsteinmuttergesteins, das aber doch nur etwa zur Hälfte die Mineralien liefert, die anderen 50 % entstammen dem überlagernden Löß, dessen Mineralien in den oberen Horizonten überwiegen.

3. Löß auf Granit.

Als Beispiel des Zusammenvorkommens von Löß und Granit wurden die Horizonte A₁ und A₃ eines Bodens aus der Gegend von Schmalkalden in Thüringen untersucht. Der Löß ist hier von Granitblöcken überrollt, die mit zur Bodenbildung beitrugen. Schon die Korngrößenverteilung (Tabelle 7 und Abb. 4) zeigt, daß es sich um einen völlig andersartig zusammengesetzten Boden handelt wie in dem reinen Lößprofil von Kattenbühl. Während dort überhaupt kein Grobboden (> 2 mm) vorhanden ist, finden sich hier im A₁ 9 % und im A₃ 16,6 % Steine, die im wesentlichen Bruchstücke dieses Granites darstellen, in dem megaskopisch rötliche Feldspäte, Quarz und zersetzter Biotit noch gut zu erkennen sind.

Für die weitere Trennung ergab sich, daß beim A₃-Horizont dieses Bodens eine Vorbehandlung mit Salzsäure nicht zu umgehen ist. Tabelle 7 gibt eine Gegenüberstellung der 1. nach dem oben beschriebenen Verfahren (Absieben und Trennung im Atterbergzylinder) erhaltenen Ergebnisse und der 2. durch die für die Serienuntersuchung angewandten Pipettmethode mit Schlämmanalyse gewonnenen Werte.

Tabelle 7.

Korngrößentrennung, Löß auf Granit, Brotterode.

A ₁	Atterberg + HCl		Pipettmethode
	%	%	%
2000—200 μ	19,3		17,2
200—20 μ	21,5		38,5
20—0,02 μ	44,9		44,3
Verlust	14,3		
A ₃			
2000—200 μ	20,2	17,0	16,6
200—20 μ	37,4	29,0	35,5
20—0,02 μ	37,8	46,3	47,9
Verlust	4,6	7,7	

Da sich gut die Mängel der jeweiligen Methode an diesem Beispiel aufzeigen lassen, sei hier kurz auf die Ergebnisse eingegangen. Dazu muß der Gang der Pipettmethode erläutert werden. Nach Vorbehand-

lung des Bodens mit H_2O_2 , HCl und nach 2stündigem Schütteln werden durch Abpipettieren, Trocknen und Wägen die Fraktionen $20-2\ \mu$ und $< 2\ \mu$ ermittelt. Durch Schlämmen im Schlämmapparat nach Kopecky wird die Fraktion $2000-200\ \mu$ gewonnen und die Fraktion $200-20\ \mu$ dann aus der Differenz gegen 100 errechnet.

In unserem Fall ergibt sich für den A_1 -Horizont ein wesentlicher Unterschied in den beiden durch die verschiedenen Methoden ermittelten Ergebnissen bei der mittleren Fraktion, der durch den bei der Vorbehandlung gelösten Anteil von 14,3 % zu erklären ist, der bei einer Berechnung auf 100 nicht berücksichtigt wird und so fälschlich einzig der mittleren Fraktion zugeschrieben wird.

Für den A_3 -Horizont ist dieser Fehler nicht so wesentlich, hier liegt ein Mangel in der Vorbehandlung nur mit H_2O_2 . Eine Bildung durch Eisenhydroxyde verkitteter Aggregate führt dazu, daß viele feine Partikelchen nicht in der ihnen zukommenden feinsten Fraktion auftreten, sondern als Aggregate in den größeren. Dieser Fehler wird behoben durch eine Vorbehandlung mit HCl . Sie ist in diesem Fall unerlässlich, da sich ohne sie auch bei der Auszählung u. d. M. ein völlig falsches Bild ergibt.

Es ist also die Vorbehandlung für jeden Boden verschieden und muß seinem Zustand entsprechend gewählt werden.

Die mineralogische Untersuchung ergab folgende Ergebnisse: In der Fraktion $2000-200\ \mu$ fallen u. d. Binokular die zahlreich auftretenden, goldglänzenden Glimmerblättchen auf, die zuweilen Hohlräume mit runden oder eckigen Begrenzungen aufweisen, in denen sich sehr selten

noch ein Mineral, anscheinend Zirkon, befindet. Daneben finden sich glasklare Quarze, die nur vereinzelt etwas von Eisenhydroxyden umkrustet sind, weißlich getrübe, selten grünliche Feldspäte, die nur stellenweise noch glasklare, frische Partien aufweisen, eine grünschwärzliche Hornblende, viel kohlige Substanz und helle, weißliche organische Reste sowie Gesteinsstückchen. Im A_3 kommen noch die schon erwähnten, nach der Behandlung mit HCl nur noch ganz vereinzelt auftretenden, verkitteten Aggregate hinzu, die hell, gelblich-bräunlich, porös erscheinen.

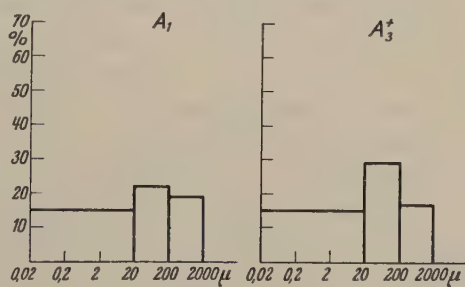


Abb. 4. Löß über Granit, Brotterode.
Korngrößenverteilung.
+Vorbehandlung mit HCl .

Ausgezählt wurde wieder die mittlere Fraktion 200—20 μ . U. d. M. ist der Quarz meist wasserklar durchsichtig und nur selten umgeben von Serizitschüppchen oder von rotbraunem $\text{Fe}(\text{OH})_3$ umkrustet. Oft enthält er Flüssigkeitseinschlüsse und Turmalinnädelchen, Biotitblättchen sind zuweilen angelagert.

Als Alkalifeldspat tritt Mikrolin auf, Orthoklas und ein Albit bis Oligoklasalbit, der vereinzelt Zwillingslamellierung zeigt.

An Plagioklasen tritt neben Oligoklas ein basischer Andesin mit etwa 45 % An auf, dieser vereinzelt in eigenartiger Skelettform: der frische Feldspat, der noch Zwillingslamellen haben kann, ist randlich eingebuchtet und wie zerfressen.

Zersetzungserscheinungen haben sowohl die Alkalifeldspäte wie die Plagioklase. Sie sind häufig serizitisiert, wobei oft deutlich erkennbare, große Serizitschuppen entstanden sind oder von Chlorit oder Eisenhydroxyden durchsetzt. Dies kann an den einzelnen Körnchen so weit gehen, daß eine Bestimmung unmöglich wurde. Sie wurden als zersetzte Feldspäte zusammengefaßt.

Der Biotit ist grünlich braun und nahezu einachsige. Er ist zuweilen stark von rotbraunem Eisenhydroxyd durchsetzt oder gänzlich gebleicht und dann fast immer isotropisiert. Er wurde, wenn er diese Erscheinungen zeigt, als zersetzter Biotit bezeichnet.

Der Muskowit zeigt keine Besonderheiten. Bei den hochlichtbrechenden Mineralien überwiegt eine grüne Hornblende, daneben treten Diopsid, Zirkon, Turmalin und Rutil auf.

Erz wurde nicht beobachtet.

Reichlich auftretende kohlige Substanz, wie auch andere organische Reste wurden als organische Substanz zusammengefaßt.

Als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ wurden rotbraune Körnchen bezeichnet, die vermutlich als Kern ein anderes, aber nicht zu identifizierendes Mineral enthalten.

Das Ergebnis der Auszählung gibt Tabelle 8, die graphische Darstellung Abb. 6.

Deutlich zeigt sich die Rolle der dem Granit entstammenden Mineralien am Aufbau dieses Bodens und damit der Unterschied gegenüber dem reinen Lößprofil von Kattenbühl (s. a. Abb. 6): Abnahme des Quarzes und die starke Zunahme der Glimmer, vor allem des Biotits. Dieses sowie der größere Gehalt an zersetztem Feldspat, das Auftreten eines basischeren Plagioklases und der große Anteil einer grünen Hornblende an den hochlichtbrechenden Mineralien lassen auf leichtere Aufschließbarkeit und damit größere Fruchtbarkeit dieses Bodens gegenüber dem Lößboden von Kattenbühl schließen.

Tabelle 8.

Löß über Granit, Brotterode. Mineralogische Zusammensetzung.

	A ₁ %	A ₃ ¹⁾ %
Quarz	43	44
Alkalifeldspat	16	14
Plagioklas	7	9
zersetzter Feldspat .	10	5
Biotit frisch	6	12
Biotit zersetzt	1	3
Muskowit	1	2
hochl. Min.	9	7
Erz	—	—
org. Substanz	7	1
Fe(OH) ₃	0,3	1
unbestimmbar	0,3	0,5
Aggregate	—	1

4. Löß auf Basalt.

Schließlich wurden noch 2 Lößböden, die Basalt auflagern, und zum Vergleich hierzu ein Basaltverwitterungsboden untersucht, und zwar an Lößböden der A₃- und C-Horizont je eines Profils vom Westberg und vom Schöneberg bei Hofgeismar und ein Basaltverwitterungsboden vom Deiselberg bei Hofgeismar.

Vor Beschreibung der Böden sei eine kurze, der Literatur entnommene Charakteristik der einzelnen Basalte gegeben. (Da keine frischen Handstücke des Basaltes vorliegen, konnte keine eigene Untersuchung vorgenommen werden.)

Am Westberg wird Muschelkalk von einem Basalt durchstoßen, der als Nephelin-Melilithbasalt, reich an Olivinausscheidungen bezeichnet wird (nach Tröger [8] hauynführender Olivin-Melilithit). Er steckt in einem Tuffmantel, die als dunkelrote unreine Tone mit blasigen Basaltschlacken charakterisiert werden [4].

Am Schöneberg handelt es sich [4] um einen oberflächlich stark zersetzten basaltischen Trachydolerit, reich an Olivinausscheidungen und am Deiselberg schließlich [4] um einen basaltoiden Trachydolerit, für den K. Heykes auf Grund der Arbeiten von Blanckenhorn folgende Beschreibung gibt: „Grundmasse augitreich, verhältnismäßig feldspatreich, natronreiche farblose Basis ist vorhanden, Plagioklas in schmalen einzelnen Leisten, außerdem als Füllmasse Sanidin, in größeren undulös auslöschenden Partien. Andere Flecken in der Basis,

¹⁾ Vorbehandlung mit HCl.

die auf polarisiertes Licht verschwommen reagieren, lassen sich auf Nephelin deuten. Einsprenglinge Olivine, große Augite mit einem an Glas- und Schlackeneinschlüssen reichen Kern, nicht selten Ägirin-augitkerne. Bezeichnend häufig weiße Schlieren oder „Feldspat-Augen“, die außer Plagioklas auch Sanidin enthalten. Ausgesprochene Sonnenbrennerverwitterung.“ [6]

Bei der Korngrößentrennung (Tab. 9, Abb. 5) ergibt sich für die A₃-Horizonte der Profile vom Westberg und Schöneberg die für Lösses typische Verteilung, das Maximum liegt bei der mittleren Fraktion. Das gleiche gilt für die Probe des C₁-Horizontes des Profils vom Westberg, bei dem es sich — wie auch der mineralogische Befund zeigt (s. v.) — nicht um reinen Basalt handeln kann. Es spielt hier entweder noch eine Einwirkung des überlagernden Lösses eine Rolle, oder aber wir haben es nicht mit dem Basalt selbst, sondern dem Tuff zu tun.

Ein eindeutiger Unterschied zeigt sich in der Korngrößenzusammensetzung des C-Horizontes am Schönebergprofil, die mittlere Fraktion hat einen weit geringeren Anteil am Aufbau des Bodens, sie nimmt zugunsten der feinsten Fraktion erheblich ab, ebenso wie es beide Horizonte des Basaltverwitterungsbodens vom Deiselberg zeigen.

Tabelle 9.

Korngrößenverteilung in den Bodenprofilen von Hofgeismar.

Westberg	A ₃ %	C ₁ %
2000—200 μ	3,4	12,5
200— 20 μ	57,2	44,0
20— 0,02 μ	37,4	42,0
Schöneberg	A ₃ %	C %
2000—200 μ	0,7	0,8
200— 20 μ	62,0	31,7
20— 0,02 μ	36,1	66,2
Deiselberg	A ₃ %	C %
2000—200 μ	0,9	1,4
200— 20 μ	27,6	20,7
20— 0,02 μ	67,2	76,5

Ein gleicher Unterschied zwischen den einzelnen Profilen und ihren Horizonten wird in der Mineralzusammensetzung deutlich (Tab. 10,

Abb. 6). Am Westberg ist — wie ja auch die Korngrößenzusammensetzung ergab (s. o.) — der Einfluß des Lösses in beiden Horizonten noch sehr stark. Es findet sich in der Fraktion 200—20 μ die für den Löß typische Zusammensetzung: starker Quarzgehalt, aufgebaut aus gerundeten Quarzkörnchen, z. T. mit Serizitkruste, an Alkalifeldspäten Mikroklin, Orthoklas mit kleinem Achsenwinkel und ein Albit bis Oligoklasalbit zuweilen durch Zwillinglamellen kenntlich, als Plagioklas mit einer Lichtbrechung größer als die des Kanadabalsams ein Oligoklas, alle Feldspäte zuweilen mit Zersetzungserscheinungen, oft chloritisierter Biotit und an hochlichtbrechenden Mineralien Zirkon und Rutil. An dem Basalt angehörenden Mineralien findet sich Augit, Olivin, ein basischerer Plagioklas (letzterer in größerer Menge nur im C_1 -Horizont) und eigenartig gelbliche als Gel zu bezeichnende Körnchen.

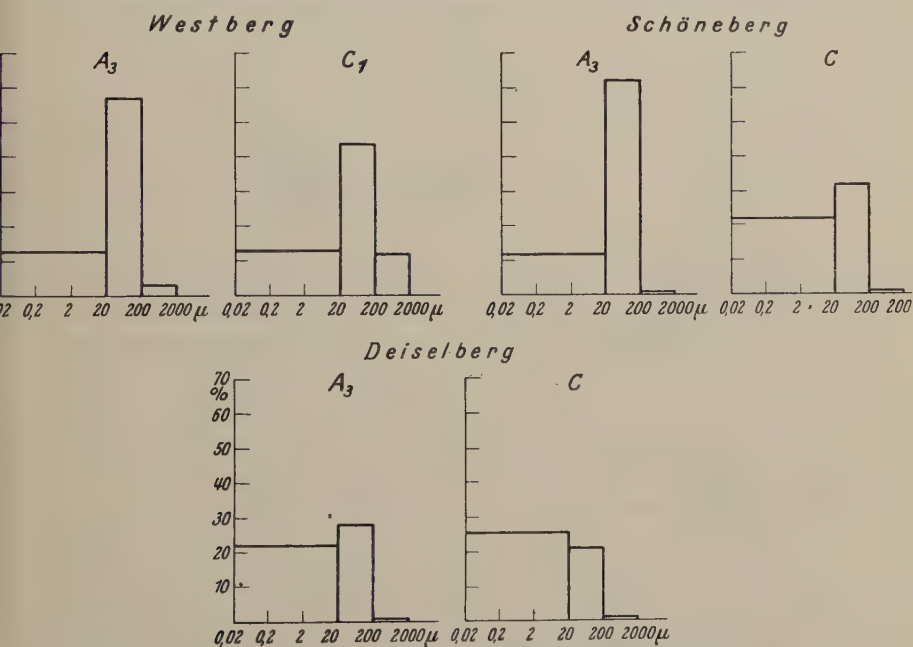


Abb. 5: Korngrößenverteilung in den Profilen von Hofgeismar.

Diese dem Basalt entstammenden Mineralien seien schon hier charakterisiert: Der Olivin ist farblos, z. T. serpentiniert, der Augit schwach grünlich. Daß beide dem Basalt angehörten, erweisen die größeren Fraktionen, bei denen unter den Steinen dieses Profils ein poröser, schlackiger Basalt, z. T. durch ein weißes Bindemittel, wohl Opal, verkittet, mit vereinzelt frischen Olivinen und kleine Olivinknollen auftreten. In beiden ist der Olivin häufig randlich zu einer roten pulverigen Substanz zersetzt. Die Olivine finden sich in der

Fraktion 2000—200 μ wieder, wo sie u. d. Binokular einmal als rote, glänzende Körnchen mit muschligem Bruch und einer Härte größer als Glas erkannt wurden, außerdem rotbraun überkrustet oder ganz zu roten porösen Körnchen zersetzt auftreten. Erstere zeigen zerdrückt u. d. M. bei mittlerem Achsenwinkel positiven optischen Charakter und meist gerade Auslöschung. Letztere haben oft Einlagerungen von Fe_2O_3 oder sind restlos in lockere, poröse Eisenhydroxyde zersetzt. Sie lassen sich dann ohne weiteres zerdrücken und enthalten nur noch vereinzelt frische Mineralbestandteile.

Ebenso sind die Augite unter dem Binokular zu erkennen, sie kommen in gut ausgebildeten schwarzen Kristallen vor, die zerdrückt u. d. M. oft Zwillingsbildung zeigen und auf Spaltflächen eine Auslöschungsschiefe von 54° . Teilweise zeigen sie Zersetzungserscheinungen.

Auf den unteren Horizont beschränkt ist das Auftreten von weißen, gelben bis bräunlichen, durchscheinenden, glatten und eckigen, leicht zerdrückbaren Körnchen, die zerdrückt u. d. M. verschiedene optische Eigenschaften aufweisen. Sie sind teils isotrop und haben dann eine Lichtbrechung zwischen 1,40 und 1,46 und sind damit wohl als Opal zu identifizieren, teils doppelbrechend mit gelben bis braunen Interferenzfarben und dabei z. T. als nahezu einachsige bis einachsige negativ zu erkennen. Sie haben sehr wechselnde Lichtbrechung, die jedoch stets größer 1,50 ist, oft noch über 1,54 liegt. Schließlich finden sich noch Körnchen mit Aggregatpolarisation und grauen Interferenzfarben.

Eine Behandlung dieser durch in Xylol gelöstem Azetylentetrambromid vom spez. Gewicht 2,43 angereicherten Körnchen mit kalter Salzsäure ($d = 1,15$) ergab eine Entfärbung der Körnchen und damit eine Abnahme der Lichtbrechung, die nur noch bei wenigen, noch getrübbten Körnchen 1,54 erreicht, meist aber auch bei den doppelbrechenden Körnchen unter 1,53 liegt.

In der zur Behandlung benutzten HCl konnten Fe, Mg, Al und Ca nachgewiesen werden.

Es scheint sich also bei den beschriebenen Körnchen um ein Kieselsäuregel zu handeln, das z. T. kristallin geworden ist und die oben genannten Elemente — wohl als Hydroxyde (auch in Gelform?) — enthält.

Das Profil vom Schöneberg läßt weit deutlicher einen Unterschied zwischen den beiden Horizonten erkennen (Tab. 10 und Abb. 6). Im A_3 haben wir die typische Mineralzusammensetzung eines Lösses, während der C-Horizont durch seinen niedrigen Quarzgehalt, reichlich auftretende basische Plagioklase, seinen Anteil an Olivin und Augit und häufig vorkommendem Gel seine Herkunft aus einem basischen Gestein verrät.

Er ähnelt sehr der Zusammensetzung des reinen Basaltprofils vom Deiselberg, in dem beide Horizonte die für Basalte als typisch er-

kannten Mineralien aufweisen. Hinzu kommt hier noch ein starker Erzgehalt. Vor allem im C-Horizont treten viele Gesteinsreste auf,

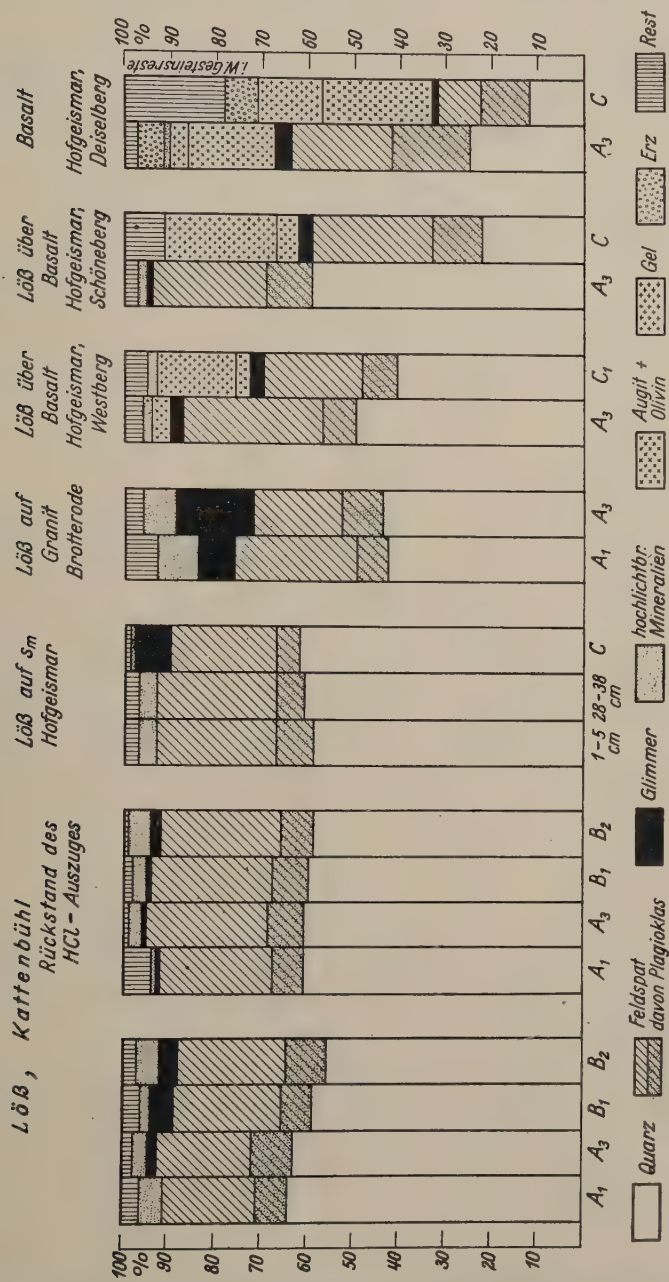


Abb. 6.

die oft noch die ophitische Struktur der Basaltgrundmasse erkennen lassen. Sie setzen sich zusammen aus Alkalifeldspat oder Oligoklas, in

denen gedrungene Augitleisten und Erz liegen. Zuweilen ist auch ein leistenförmiger basischer Plagioklas mit Zwillingslamellen zu erkennen. Alles ist durchspickt von feinen Nadelchen, wohl Apatit. Zuweilen verwischen chloritische Zersetzungsprodukte das Bild. Das auch hier wieder auftretende Gel zeigt die oben beschriebenen Eigenschaften, hinzu kommt zuweilen faserige Ausbildung, bei der die Längsrichtung der Fasern sich als positiv erweist.

Tabelle 10.

Mineralogische Zusammensetzung der Löß-Basalt-Profile.

	Westberg		Schöneberg		Deiselberg	
	A ₃ %	C ₁ %	A ₃ %	C %	A ₃ %	C %
Quarz	50	41	59	22	25	12
Alkalifeldspat	29	17	23	19	20	9
Plagioklas	7	8	10	11	17	11
zersetzter Feldspat	2	4	2	7	2	—
Biotit	0,3	1	0,3	3	2	1
Muskowit	2	2	1	—	0,5	—
Allophan	—	—	1	—	—	—
Serpentin	0,5	0,5	—	—	—	—
Augit	4	3	—	5	13	13
Olivin					6	11
Gel	—	17	—	24	4	14
hochl. Min.	2	2	2	—	1	—
Erz	1	0,5	0,5	1	7	7
Fe(OH) ₃	2	3	—	2	—	0,5
org. Substanz	0,3	0,5	0,3	0,3	—	—
org. SiO ₂	0,3	—	—	—	—	0,3
Gesteinsreste	—	—	—	4	3	20
unbestimmbar	—	1,5	0,5	2	0,3	1

Erst weitere Untersuchungen werden zeigen, ob immer trotz der ursprünglich verschiedenen Zusammensetzung der den Boden liefernden Basalte die als Basaltverwitterungsprodukte anzusehenden Horizonte eine Ähnlichkeit der Mineralzusammensetzung aufweisen, wie sie in den 3 untersuchten Profilen vorliegt, und ob die als Gel bezeichneten Körnchen stets als ein Verwitterungsprodukt des Basaltes im Boden zu finden sind, während gewisse Mineralien, Nephelin und Melilith z. B., die in den Ursprungsgesteinen der beschriebenen Basaltböden vorkommen, nicht erhalten bleiben.

Schluß.

Es konnte im vorstehenden gezeigt werden, daß die untersuchten Böden in ihrer mineralogischen Zusammensetzung wesentlich von-

einander abweichen. Es ist damit die Aufgabe des Mineralogen getan, dem Bodenkundler bleibt es vorbehalten, daraus Schlüsse auf den Vegetationszustand und damit die Fruchtbarkeit des Bodens zu ziehen, die ja unbedingt zurückzuführen sein muß auf die verschiedenen, den Boden aufbauenden Mineralien und ihre verschiedenartige Zersetzbarkeit.

Diese Aufgabenstellung rechtfertigt die im wesentlichen aus praktischen Gründen gewählte Untersuchung der einen Fraktion 200—20 μ . Sie wird trotz Vernachlässigung des feinen Anteils, der selbstverständlich die meisten Zersetzungsprodukte enthält und damit, wie oben gezeigt wurde, auch die in HCl löslichen und für die Pflanze unmittelbar zugänglichen Stoffe, einen Überblick über die verschiedenartige Zusammensetzung der Böden geben, erfaßt sie doch den Anteil des Bodens, der immer wieder neue Stoffe liefert, seine „nachschaffende Kraft“, wie Steinriede [7] es bezeichnete.

Literaturverzeichnis.

1. Correns, C. W., Mineralogische Untersuchungen an Böden. Bodenkunde u. Pflanzenernährung 21/22, 656—666 (1940). — 2. Correns, C. W. und Schlünz, F., Mineralogische Untersuchung dreier mecklenburgischer Böden. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 44, H. 4/6 (1936). —
 3. Engelhardt, W. v., Mineralogische Beschreibung eines mecklenburgischen Bodenprofils. Chemie der Erde 11 (1937). — 4. Geol. Spezialkarte von Preußen 1:25000, Bl. Trendelburg mit Erl. — 5. Hartmann, F. K. und Meyer, F., Die Untersuchung der Böden im Laboratorium und ihre Auswertung I und II. Mitt. d. Forstwirtschaft und Forstwissenschaft 1936. — 6. Heykes, K., Chemisch-petrographische Studien an den Basalten Niederhessens und der Rhön. Jb. Preuß. Geol. Landesanstalt 51, Teil 2 (1930). — 7. Steinriede, F., Anleitung zur mineralogischen Bodenanalyse. Leipzig 1921. — 8. Tröger, E., Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Berlin 1935.
-

Über die Bedeutung der mineralogischen Analyse bei der Kennzeichnung der Standorte von Waldgesellschaften und ihrer Leistungsfähigkeit.

**Boden-, vegetations- und ertragskundliche Auswertung
der mineralogischen Untersuchung von mitteldeutschen Lößprofilen
durch Dr. Isa Kubach ¹⁾.**

Von

F. K. Hartmann.

Aus dem Institut für Waldbau I der Universität Göttingen.

Die mineralogisch-analytische Untersuchung der Hauptwurzelzone, im vorliegenden Falle an mitteldeutschen Löß- und Gesteinsböden bzw. Gesteinsböden mit Lößauflage ausgeführt, stellt ein wichtiges Glied in der komplexen Erforschung forstlicher Standorte dar, deren natürliche Vegetationszusammensetzung und Wuchsleistung ermittelt und in Kausalzusammenhang zu den wichtigsten Einzelfaktoren von Klima, Lage, Boden und Gestein, Wasserhaushalt usw. gesetzt werden konnte. Die vorliegende Arbeit bildet daher den ersten Versuch, Waldstandorten, die sowohl von der vegetations- und forstertragskundlichen wie auch von der klimatischen, orographischen, edaphischen und hydrologischen Seite her schärfer umrissen sind, die kausale Deutung ihrer Leistungsfähigkeit durch die mineralogische Analyse zu geben. Aus einer solchen Betrachtungsweise ergibt sich, wie aus den ausgewählten Beispielen ersehen werden kann, die vorzügliche Eignung mineralogischer Untersuchungsmethoden für die Erklärung bestimmter Wuchsleistungen, Bestandes- und Vegetationszusammensetzungen aus der mineralisch nachschaffenden Kraft der untersuchten Böden in Verbindung mit allen übrigen, im einzelnen näher beschriebenen Standortfaktoren.

I. Die Methoden zur Aufnahme der Bestände, Vegetation, Standorte (nach Klima, Lage, Wasserhaushalt, Boden) und die bodenanalytischen Untersuchungsmethoden:

Die Bestandesaufnahmen sind nach den üblichen Bestandesaufnahme-
methoden der deutschen Versuchsanstalten, die vegetationskundlichen Aufnahmen
der untersuchten Waldbestände sind nach der vom Verf. für Waldaufnahmen

¹⁾ Vergl. diese Zeitschrift, 1943, S. 7—25.

modifizierten Methode von Braun-Blanquet¹⁾ vorgenommen. Durch örtliche Höhenmessungen wurden die Ertragsklassen für die Hauptholzarten festgelegt.

Die klimatischen Daten sind nach dem Hellmannschen Klimaatlas und den neuesten Unterlagen des Reichsamtes für Wetterdienst ermittelt (Tab. 1).

Die Faktoren zur Lage: Höhenlage, Hanglage, Hangneigung sind mit Höhenbarometer, Kompaß, Gefällmesser usw. am Ort so genau wie möglich und notwendig bestimmt.

Der Wasserhaushalt bzw. die Wasserführung, soweit sie sich aus dem Zusammenwirken von Lokalklima mit diesen Faktoren ergibt, ist im Gelände unter Berücksichtigung aller in Frage kommenden Merkmale wie des Hang- und Sickerwassers, des Bodenprofils (gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Gleibildungen verschiedener Entstehungsarten), der jahreszeitlichen Schwankungen der Boden- bzw. Hangfeuchtigkeit und unter Zuhilfenahme der Vegetation als Weiser für den Charakter der Feuchtigkeit (Dauerfeuchtigkeit, Wechselfeuchtigkeit, stagnierende Nässe oder Wasserzügigkeit usw.) eingeschätzt.

Die Böden sind an Ort und Stelle an Hand von notwendigenfalls mehrere Meter tief bis auf den toten Gesteinshorizont heruntergebrachten Bodeneinschläge morphologisch und hinsichtlich ihrer physikalischen Lagerung genau von mir aufgenommen. Hierbei wurden der Wasserhaushalt mit dem im Laufe der Vegetationszeit zur Verfügung der Holzarten- und Pflanzenwurzeln stehenden Bodenwasser, dem Wasservorrat und der Wasserabgabe der einzelnen Bodenschichten innerhalb gewisser Zeiträume, ferner die Bodenstruktur und -Textur und Bodendurchlüftung nach wiederholtem örtlichen Befund beschrieben. Aus den typischen Horizonten (und gegebenenfalls noch von abweichenden Bodenschichten) sind von mir Bodenproben entnommen, die u. a. nach ihrer Korngrößenzusammensetzung, ihren Reaktions- und Basensättigungsverhältnissen sowie nach ihrem Vorrat und ihrem Nachlieferungsvermögen an Nährstoffen, bestimmt durch den Auszug mit Salzsäure von $d = 1,15$ unter einstündigem Kochen, im Institut für Waldbau I unter leitender Mitarbeit von F. O. W. Meyer und E. Keßler analysiert worden sind²⁾).

Von diesen Bodenproben sind die in vorstehendem Aufsatz von I. Kubach erwähnten mineralogisch analysiert.

Da vom Institut Serienanalysen von zahlreichen Waldböden in den letzten 10 Jahren vor dem Kriege vorgenommen werden konnten, wird im folgenden auf die Lage der Einzelwerte der hier zu besprechenden Böden im Gesamtbild der bisherigen Analysen hingewiesen werden.

Die Korngrößenzusammensetzung ist bei den Ergebnissen der mineralogischen Analyse der Verf. der vorausgehenden Arbeit, Frau Dr. I. Kubach, ausgewertet. Jeder Boden wurde außerdem nach der 1936 beschriebenen kombinierten Methode auf seine Korngrößenzusammensetzung analysiert (Hart-

¹⁾ Braun-Blanquet, Pflanzensoziologie 1928, Hartmann, F. K., Die praktische Bedeutung der Pflanzensoziologie für die Forstwirtschaft usw. *Ang. Forst- und Jagdzeitung*, 108, 317—329, 1932.

²⁾ Vgl. näher F. K. Hartmann und F. O. W. Meyer, „Über die Auswertung von Bodenuntersuchungen für die forstl. Praxis.“ II. „Die Untersuchung der Böden im Laboratorium und ihre Auswertung.“ Mitt. aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft. Verlag M. und H. Schaper, Hannover 1936, S. 271—287.

³⁾ Vgl. auch H. Süchting, „Zur Kennzeichnung und Gütebewertung von Waldböden II.“ *Z. Bodenkunde und Pflanzenernährung* 27 (72), Heft 5, 289—310 (1942).

Klimadaten für die

Forstreviere	SH.	Niederschläge		
		Jahr	Veget.-Zeit Mai—Juli	tägl. Mai—Sept. mmv n. Oelkers
	m	mm		
Kattenbühl 94	210	700	200	2,3
Staatl. Hofgeismar 4 . .	240	600	200	2,3
Brotterode 118.	550	1000	260	2,5
Stadt Hofgeismar 16				
Westberg	300	600	200	2,3
Staatl. Hofgeismar 72				
Schöneberg	300	600	200	2,3
Staatl. Hofgeismar 109				
Deiselberg	380	700	220	2,3

mann und Meyer 1936 a. a. O., S. 275; vgl. weiter M. Köhn, 1927 und 1928).

Die S-Werte sind nach der Methode von Kelley (Groninger Verhandlungen 1927, Teil B, S. 203), die Up-Werte nach derjenigen von di Gleria (Kopenhagener Verhandlungen 1933, S. 79) bestimmt. Für die Beurteilung der Waldböden nach diesen Werten, d. h. nach ihrem heutigen Basenvorrat S, nach dem fehlenden Anteil der Basen „Up“ (Ungesättigkeit des Bodens) und ihrem Basenfassungsvermögen (d. h. der Größe der Basenvorratskammer) $S + Up$ gibt die Statistik der vom Institut untersuchten Böden vom Frühling 1938 — errechnet von Dr. F. O. W. Meyer — folgende Wertsverteilung einen Anhalt:

Von 965 Böden (sowohl humushaltigen wie humusfreien, karbonathaltigen wie karbonatfreien oder -armen, grundwasserfreien und grundwasserbeeinflussten) lagen 50 % mit dem S-Wert unter 4,4 mval, 66 % unter 7,0 mval und 90 % unter 17,0 mval. Das arithmetische Mittel lag bei 6,75 mval, das Maximum der Ammoniumchloridaufnahme bei 40,74 mval, das Minimum bei 0,07 mval.

Bei der gleichen Zahl und Art von Böden lagen die entsprechenden Up-Werte der Ammoniakaufnahme folgendermaßen: 50 % von 965 Böden lagen mit dem Up-Wert unter 3,5 mval, 65 % unter 5,7 mval, 90 % unter 12 mval. Das arithmetische Mittel lag bei 5,10 mval, das Maximum bei 31,64 mval, das Minimum bei 0,01 mval.

⁴⁾ Vgl. M. Köhn, Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse I. Z. f. Pfl., Dg. u. Bdkd., A. 9, 1927, 364. — Derselbe, Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse II. Ebenda, A 10, 1927/28, 91. — Derselbe, Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse III. Ebenda, A 11, 1928, 50. — Derselbe, Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse IV. Ebenda, A 14, 1929, 268.

belle 1.

untersuchten Forstorte.

Wärmeverhältnisse			Trockenheitsindex ¹⁾		
Mittl. Temp.	wirkl. Temp.	Durchschn.-Temp.	Andauer einer Temp. von mind. 10° C	Jahr	Veget.-Zeit Mai—Juli
Jahr	Veget.-Zeit Mai—Juli	Veget.-Zeit Mai—Sept. tvS. n. Oelkers			
° C					
8	14	15,7	150	35	35
7 (8) ²⁾	14	15,7	150	35	30
5 (6) ²⁾	11 (12) ²⁾	16,2	120	80 (90) ²⁾	60 (70) ²⁾
7	14	15,8	150	35 (40) ²⁾	30
7	14	15,8	150	35	30
7	13	16,1	140	40(45) ²⁾	35

Das Basenfassungsvermögen $S + Up (= T)$ der gleichen 965 untersuchten Böden lag bei 50 % unter 8,8 mval, bei 66 % unter 13,8 mval und bei 90 % unter 27,7 mval. Das arithmetische Mittel lag bei 11,85 mval, das Maximum bei 57,34 mval, das Minimum bei 0,09 mval.

Die V-Werte als die prozentualen, relativen Basensättigungszustände, ermittelt nach der Formel $\frac{100 \cdot S}{S + Up}$, lagen bei der gleichen Anzahl untersuchter Bodenproben zu 50 % unter 52 %, zu 66 % unter 66 %, zu 90 % unter 88 %. Das arithmetische Mittel lag bei 57,2 %, das Maximum bei 100 %, das Minimum bei 10,86 %.

Diese Werte geben in Verbindung mit den Aziditätsverhältnissen, ausgedrückt durch die p_H -Werte im Wasser- und Kaliumchloridauszug und die Austausch-Titrationsazidität, einen Einblick in die chemische Dynamik der Böden³⁾.

Zur Kennzeichnung des Vorrats und des Nachlieferungsvermögens der Böden an Nährstoffen durch den Salzsäureauszug und zur Bewertung der Bodengüte

) Der Trockenheitsindex für das Jahr errechnet sich (nach Mitt. des Reichsamtes für Wetterdienst von 1937) aus der Formel $\frac{n}{t + 10} \cdot \frac{R}{120}$, für die Vege-

tationszeit Mai-Juli aus der Formel $\frac{4n}{t + 10} \cdot \frac{R}{30}$, worin n die mittlere Niederschlagshöhe, t die Mitteltemperatur und R die mittlere Anzahl der Tage mit mindestens 1,0 mm Niederschlag, 120 bzw. 30 die mittlere Zahl dieser Niederschlagstage für Deutschland bedeutet.

²⁾ In Klammern beigefügte Zahlen drücken aus, daß es sich um Grenzwerte in Richtung auf den beigefügten Wert handelt.

³⁾ Vgl. Süchting 1942, a. a. O.

im Zusammenhang mit den Werten der mineralogischen Analyse möge Tab. 2 Vergleichsmöglichkeiten mit anderen vom hiesigen Institut nach gleichen Methoden analysierten Waldböden geben.

Ta-

Übersicht über den Nährstoffgehalt
(bestimmt durch einstündigen Auszug mit heißer, konzentrierter Salzsäure

Zahl der Bestimmungen	SiO ₂ ¹⁾	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
	%	%	%
	407	451	452
Minimum	0,07	0,06	0,08
arithmetisches Mittel	3,24	2,14	2,00
Maximum	20,06	9,17	12,12
Die Hälfte der Analysenwerte aller Böden liegen .	< 2	< 2	< 1,4
Zwei Drittel der Analysenwerte aller Böden liegen	< 4	< 2,4	< 2,3
90 % der Analysenwerte aller Böden liegen	< 8	< 5	< 6

Die zeitraubenden Einzelanalysen im Salzsäureauszug wurden nach folgenden Gesichtspunkten verteilt: Beispiel 1 (Forstamt Kattenbühl, Abt. 94) für die Lössе auf mittlerem Buntsandstein, Beispiel 3 (Brotterode, Abt. 118) für Löß mit Granitbeeinflussung auf Granit, Beispiel 4 (Hofgeismar, Abt. 16) für Löß auf Basalt (vgl. Tab. 3).

Für die übrigen Profile wurde das Salzsäurelösliche in Summa neben der Korngrößenzusammensetzung, den Reaktionsverhältnissen und den Sättigungswerten bestimmt, um so einen Anhalt für Vorrat und Nachlieferungsvermögen an Bodennährstoffen zu gewinnen.

Zu diesen Werten der Bodenanalyse werden diejenigen der mineralogischen Analyse von Frau Dr. I. Kubach (München) (vgl. vorstehende Arbeit) in Beziehung gesetzt. Es wird jeweils versucht, hieraus die ursächlichen Zusammenhänge zwischen dem Nachlieferungsvermögen der untersuchten Feinsandfraktion 200—20 μ an bodenbildenden Mineralien und dem derzeitigen bodenanalytischen Befund soweit als möglich herzuleiten.

II. Die Kennzeichnung der mit der mineralischen Analyse erfaßten Böden nach standörtlichen, bodenanalytischen, vegetations- und ertragskundlichen Merkmalen und die Beurteilung ihrer nachschaffenden Kraft und nachhaltigen Leistungsfähigkeit aus der Gesamtheit der Standortanalyse.

Die Beschreibung und Auswertung der Beispiele erfolgt in derselben Reihenfolge, wie sie in der vorstehenden Arbeit von Frau Dr. I. Kubach behandelt sind.

Die Werte der chemischen Bodenanalysen von den nachstehend aufgeführten Profilen vergleiche man mit der obigen Tabelle 2, wodurch man einen Vergleich mit der Lage anderer nach derselben Methode gewonnenen Werte von Waldböden

) Die Kieselsäure wird im Salzsäure- und NaOH-Auszug bestimmt. Im letzteren wird sie aus dem filtrierten Rückstand des Salzsäureauszuges durch Aufkochen mit Ätznatron gewonnen. Salzsäurelösliche und ätznatrongelöste SiO₂ wird durch Zusatz von konzentrierter Salzsäure unlöslich gemacht, bei 110° getrocknet und wie üblich gewichtsanalytisch bestimmt.

gewinnt. Um diese Werte mit denjenigen der mineralischen Analyse von I. Kurbach schneller vergleichen zu können, sind diese horizontweise in Tabelle 4 zusammengefaßt (S. 34—35).

belle 2.

von karbonatfreien Waldböden.

von d = 1,15 im Institut für Waldbau I der Universität Göttingen.)

CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	Gesamtlöslich
%	%	%	%	%	%	%
446	449	422	408	444	361	437
0,021	0,004	0,001	0,006	0,006	0,000	0,57
0,23	0,40	0,13	0,07	0,089	0,052	8,88
1,57	3,63	0,91	0,63	0,47	0,48	41,64
< 0,15	< 0,20	< 0,08	< 0,05	< 0,08	< 0,03	< 6,00
< 0,20	< 0,40	< 0,14	< 0,07	< 0,10	< 0,05	< 10,00
< 0,60	< 0,80	< 0,34	< 0,13	< 0,20	< 0,13	< 21,00

1. Lehrforstamt Kattenbühl, Revierförsterei Hohefeld bei Hann.-Münden, Abt. 94, Kaufunger Wald.

Lage: Kurzer WNW-Hang, lehn, 210 m Seehöhe.

Klima: Günstig, Eichenmischwaldklima der Hügellandstufe, vgl. im einzelnen die klimatische Übersicht (Tab. 1 auf S. 28—29).

Geologische Formation: Über 3 m mächtiger Lößlehm über mittlerem Buntsandstein (SM).

Boden: Feinsand-, schluff- und relativ kolloidreicher Lößlehm bis über 3,0 m Tiefe über SM. Brauner Waldboden, voll entwickelt, kaum entartet, Humusdecke zersetzt, Mull, in kleinen Verteilungen Mullmoder, letztjährige Laubdecke im Abbau.

Oberboden: A₁ 0—3 cm humusangereichert (Glühverlust 4,9 %), A₂ von 3—40 cm humusärmer (mäßig), sauer, im ganzen locker; Bodenbröckel bei leichtem Fingerdruck in kantige Polyeder zerfallend bzw. zerbrechend, porig und mit zahlreichen Hohlräumen und Wurzelkanälen mit verrottenden Wurzelresten, stark durchwurzelt.

Nährstoffgehalt (im Salzsäureauszug) durchweg etwas über Durchschnitt, teils besser und im oberen Drittel der bisher mit der angegebenen Methode ermittelten Werte liegend. Man vergleiche an Hand der Nährstoffübersicht die Werte des Gesamtlöslichen im Oberboden mit um 8 % (= guter Durchschnitt), der aluminosilikatbildenden Stoffe Kieselsäure um 3,4 % (über Durchschnitt) und Tonerde um 1,9 % (knapp Durchschnitt), des Kalkes mit 0,17 %, des Magnesiums mit ca. 0,4 %, des Kalis mit 0,12—0,13 % und der Phosphorsäure mit 0,06 % (sämtlich = Durchschnitt der nicht karbonathaltigen Böden oder etwas darüber).

Innerhalb der Basensättigungs- und Aziditätsverhältnisse zeigt sich, daß im Oberboden (sowohl im humosen A₁ wie im humusärmeren A₂) der heute vorhandene Basenvorrat, der S-Wert (ermittelt durch Ammoniumchloridaufnahme nach Kelley) als mäßig zu bezeichnen ist, und zwar sowohl der durch Kolloidton (nach Zerstörung des Humus durch 6 % iges H₂O₂ — halbfettgedruckte Zahlen —) als auch der durch Humuskolloid gebundene Basenvorrat. Der fehlende Basenanteil, der Up-Wert (die Ungesättigtheit des Bodens) ist verhält-

Bodenchemische Zusammensetzung

Boden-		Azidität			Basensättigung			
Hori- zont	Tiefe	P _H H ₂ O	P _H KCl	Austausch- azidität in KCl ccm 0,1 n Na OH	S mval	Up mval	S+Up mval	V
Beispiel 1 Lehrforstamt Kattenbühl (Revierförsterei Hohefeld)								
A ₁	1—3 (4)	4,56	3,86	22,81	5,21 3,64	6,66 2,84	11,87 6,48	43,87 56,22 ¹⁾
A ₃	25—35	4,37	3,98	26,12	3,72 3,96	4,36 3,47	8,09 7,42	46,06 53,29 ¹⁾
B ₁	75—80	5,32	4,10	6,82	9,72	4,18	13,90	69,91
B ₂	155—165	5,68	4,25	2,81	7,43	2,35	9,78	75,99
Beispiel 3 Forstamt Schmalkalden, Stadtwald Brotterode;								
A ₁	1—10	5,22	4,53	1,00	27,55 23,37	28,38 22,91	55,93 46,28	49,26 50,50 ¹⁾
A ₃	65—80	5,42	4,58	5,21	7,23 7,09	12,75 11,96	19,98 19,05	36,18 37,22 ¹⁾
Beispiel 4 Stadtwald Hofgeismar, Forstort Westberg,								
A ₁	1—5	5,25	4,58	2,06	15,47	5,69	21,16	73,12
A ₃	50—55	6,52	5,32	0,10	7,27	1,91	9,18	79,19
C ₁	110	6,74	5,55	0,00	28,20	8,46	36,36	76,93

nismäßig hoch, dementsprechend ist das Basenfassungsvermögen S + Up dieses Löß-Oberbodens nicht ungünstig, während der relative prozentuale Sättigungszustand V infolge des mäßigen derzeitigen Basenvorrats in Verbindung mit der relativ hohen Ungesättigtheit mit 43 bzw. 46 % (ohne Zerstörung der Humuskomponente) im A₁ und A₃ für diesen relativ kolloidreichen Löß als niedrig bezeichnet werden muß. Es liegt also ein labiler, gegen Versäuerung empfindlicher Oberboden vor, der auf Fichtenbeimischung stärkeren Umfangs und andere degenerierende Einflüsse schnell mit Versäuerung und physikalischer Verdichtung reagieren würde.

Unterboden: Der von etwa 40—120 cm reichende kompakte B₁-Horizont dieses braunen Waldbodens zeigt gegenüber dem Oberboden eine deutliche Anreicherung der wanderungsfähigen Stoffe: ca. 25 % Kolloide oder Rohtone (gegenüber 10—12 % im Oberboden), 17,3 % Gesamtlösliches (gegenüber ca. 8 % im Oberboden), 8 % Kieselsäure (gegenüber 3,40 % im Oberboden), 3,7 % Tonerde (gegenüber 1,9 % im Oberboden), 3,6 % Eisenoxyd (gegenüber 1,7 % im Oberboden), 0,34 % Kalk (gegenüber 0,17 % im Oberboden), 0,8 % Magnesiumoxyd (gegenüber 0,4 % im Oberboden), 0,4 % Kali (gegenüber 0,13 % im Oberboden) sowie eine schwache Humusanreicherung. Die übrigen Nährstoffe zeigen keine Zunahme in diesem Horizont. Die Azidität nimmt bei den P_H-Werten und der Titrationsazidität im KCl-Auszug spürbar ab, der S-Wert steigt gegenüber

¹⁾ Halbfettgedruckte Ziffern geben die Werte nach Vorbehandlung humoser Böden mit H₂O₂ wieder.

elle 3.

on mineralogisch untersuchten Waldböden.

Stoffliche Zusammensetzung, bestimmt durch Auszug mit kochender HCl von d=1,15												
Nähr- stoff- vorrat, gesamt- liches	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₈	MnO	Rück- stand	Glüh- ver- lust
Abt. 94 NW — Teil (Lößlehmprofil, 3 m mächtig, über mittl. Buntsandstein).												
7,79	3,35	1,80	1,60	0,17	0,37	0,12	0,11	0,059	0,028	0,18	89,23	4,90
8,35	3,47	1,96	1,80	0,16	0,44	0,13	0,11	0,054	0,026	0,20	90,12	1,89
7,30	8,19	3,66	3,62	0,34	0,80	0,40	0,12	0,056	0,013	0,096	80,45	2,45
3,46	6,05	2,97	2,72	0,36	0,72	0,35	0,12	0,085	0,006	0,080	85,46	1,40
Forstort: sog. „Urwald“, Abt. 118 (Lößlehm über Granit).												
22,89	8,23	5,25	5,50	1,22	1,91	0,26	0,051	0,22	0,095	0,15	61,82	21,95
27,15	10,53	6,84	6,11	0,56	2,31	0,44	0,053	0,17	0,035	0,10	64,40	6,92
Abt. 16: am Ringweg (Lößlehm über Basaltverwitterungsboden).												
2,22	3,87	2,07	3,63	0,32	1,52	0,078	0,22	0,17	0,037	0,30	83,88	5,80
5,70	5,41	2,76	3,97	0,53	2,29	0,10	0,18	0,20	0,023	0,24	82,91	1,91
1,64	20,06	8,37	6,77	1,43	3,63	0,35	0,28	0,47	0,026	0,25	51,48	5,04

dem A₃ fast auf das dreifache und nimmt einen höheren Wert an. Bei wenig veränderten Up-Wert steigt die Größe der „Basenvorratskammer“ S + Up und die relative Sättigung V.

In abgeschwächtem Umfange finden sich ähnliche stoffliche Verhältnisse in der analysierten Schicht des feinsandigen, etwas weniger stark verlehnten, roheren Lößunterbodens (B₂).

Die physikalische Beschaffenheit ist nach dem am Profil vorgenommenen Befund am B₁ deutlich kompakt und dichter. Die für den Lößoberboden charakteristischen Poren sind im oberen B₁ noch vorhanden, aber weniger reichlich und gröber (Nadelkopfgroße), die Durchwurzelung und dementsprechend die von abgebautem Wurzelhumus durchsetzten Wurzelröhren nehmen mit Beginn des kompakten B₁-Horizontes deutlich ab und finden sich im dichten feinsandig-mehligem B₂ nur noch ganz vereinzelt. Einzelne Hangwurzeln von Buche, Hainbuche, Esche, Linde, Bergahorn, sowie Pfahlwurzeln von Eiche dringen noch in diese Tiefe vor und sorgen für den Aufschluß auch dieser dichteren Bodenhorizonte des Lößlehms. Das über 3 m tief liegende Grundgestein des SM wird im vorliegenden Falle nicht erreicht, so daß hier der Lößlehm die allein ausschlaggebende Bodenart gegenüber den weiterhin untersuchten Bodenprofilen bedeutet.

In mehr oder weniger muldigen Lagen dieses Hanges schaltet sich¹⁾ zwischen dem Oberbodenhorizont (A₃) und dem kompakten Unterboden (B₁) ein zeitweise

) Nach näheren Aufschlüssen, die zum Zwecke einer Standortskartierung im Lehrforstamt Kattenbühl bei Hann.-Münden aufgenommen wurden.

sickerwasserführender, gleitiger Zwischenhorizont (A_4G) ein, der durch seine rostig-fahle Marmorierung auffällt. Auch der B_1 zeigt zuweilen solche Marmorierung, wenn auch nicht so ausgeprägt wie ein über ihm liegender „Rückstauhorizont“.

Ta-

Verteilung der wichtigsten Mineralien
(nach der Mineralanalyse)

Horizonte Forstamt Forstabteilung Geol. Format.	A_1 Katt. 94 Löü. SM %	A_1 Hofg. 4 Löü. SM %	A_1 Brott. 118 Löü. Gr %	A_3 Katt. 94 Löü. SM %	A_3 Hofg. 4 Löü. SM %	A_3 Brott. 118 Löü. Gr %
Mineralien:						
Quarz	64	59	43	63	61	44
Alkalifeldspat . .	18	24	16	17	22	14
Plagioklas	7	8	7	9	6	9
zersetzter Feldspat	2	2	10	0,5	3	5
Sa. Feldspat . .	27	34	33	26,5	31	28
Kaolin	0,5	—	—	3	1	—
Biotit	—	—	—	1	—	—
Biotit frisch . . .	—	—	6	—	—	12
Biotit zersetzt . .	—	—	1	—	—	3
Muskowit.	0,3	0,3	1	1	0,3	2
Sa. Glimmer . .	0,3	0,3	8	2	0,3	17
Serpentin	—	—	—	—	—	—
Augit	—	—	—	—	—	—
Olivin	—	—	—	—	—	—
Gel	—	—	—	—	—	—
hochl. Min. . . .	5	4	9	3	4	7
$Fe(OH)_3$ umkrustet	1	1,5	—	1	1,5	—
$Fe(OH)_3$	—	—	0,3	—	—	1
Erz	1	—	—	1	—	—

Die vergleichende Auswertung der mineralogischen Analyse ergibt für das vorliegende tiefgründige Lößlehmprofil, das der mittleren Buntsandsteinformation aufgelagert und bis über 3 m Tiefe nicht kalkkarbonatführend ist (im Gegensatz zu anderen mitteldeutschen Lössen):

1. einen — auch relativ zu Sanden — hohen Quarzgehalt in allen Horizonten, der nach den weniger stark verwitterten, tieferen Horizonten ein wenig abnimmt (im Salzsäurerückstand treten die Unterschiede in den Horizonten fast völlig zurück).

2. einen relativ hohen Gehalt an Feldspäten, wobei der Alkalifeldspatanteil besonders hervortritt, der Plagioklas in seiner sauren Form als Oligoklas mäßig vertreten ist und als basischer Plagioklas fehlt. Hiermit dürfte auch der für diese relativ „fetten“ Lößlehme überraschend hohe Säuregrad

belle 4.

innerhalb der verschiedenen Horizonte von I. Kubach).

A ₃	A ₃	A ₃	B ₁	B ₂	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁
Hofgeismar			Kattenbühl		Hofgeismar			
16	72	109	94		4	16	72	109
Lö ü. Ba	Lö ü. Ba	Ba	Lö ü. SM		SM ₂	Ba	Ba	Ba
%	%	%	%	%	%	%	%	%
50	59	25	59	56	62	41	22	12
29	23	20	20	19	16	17	19	9
7	10	17	7	9	5	8	11	11
2	2	2	2	3	7	4	7	—
38	35	39	29	31	28	29	37	20
—	—	—	1	1	0,3	—	—	—
0,3	0,3	2	3	2	0,8	1	3	1
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1	0,5	2	2	7	2	—	—
2,3	1,3	2,5	5	4	7,8	3,0	3	1
0,5	—	—	—	—	—	0,5	—	—
4	—	13	—	—	—	3	5	13
4	—	6	—	—	—	3	5	11
—	—	4	—	—	—	17	24	14
2	2	1	2	5	0,8	2	—	—
—	—	—	3	1	— ¹⁾	—	—	—
2	—	—	—	—	—	3	2	0,5
1	0,5	7	—	0,3	—	0,5	1	7

und der geringe relative Sättigungszustand in Verbindung mit dem Fehlen von Karbonaten auch im tieferen Untergrund eine Erklärung finden.

3. einen mäßig hohen, aber ausreichenden Glimmergehalt, der in etwa gleicher Verteilung als zwar schwerer verwitternder, glänzender Muskowit und hauptsächlich Kalilieferant und als daneben magnesialiefernder, leichter verwitternder dunkler Biotit vorliegt. Die Kali- und Mg-Versorgung des Bodens ist daher auch befriedigend, wie die chemische Bodenanalyse zeigt. Als Kalk-

¹⁾ Fraktion 20—2 μ .

spender kommen die Glimmer bekanntlich nicht in Frage, um so mehr als Kalibzw. Magnesialieferanten.

4. an sonstigen Mineralien: hochlichtbrechende Mineralien. (Epidot, Turmalin, Zirkon, Titanit) hat der Löß in allen Horizonten (im Gegensatz z. B. zu den bisher von Frau Dr. Kubach untersuchten diluvialen Sanden, denen diese Mineralien fehlen), während Serpentin, Augit, Olivin und die mutmaßliche Kieselsäuregelgruppe (vgl. Beispiel 4—6) fehlen. Umkrustetes Eisen tritt besonders im B₁ stärker hervor.

Bestand und Waldgesellschaft: Die heutige Laubwaldmischung dieses 82jährigen Bestandes von Buche 5.5, Eiche 1.1, Esche +.1, Bergahorn 1.2 und Linde (*Tilia cordata*) +.1 entspricht der natürlichen, standortgemäßen, in seiner Leistung einer guten Buchen- und Eichennertragsklasse. Die zugehörige Bodenvegetation und Strauchschicht lassen eine im südhannover-hessischen Berglande häufige *Dryopteris linneana-Festuca silvatica*-Variante eines frischen Buchenmischwaldes in der Definition des *Querceto-Carpinetum asperuletosum* von Tüxen 1937 bzw. Ellenberg 1939¹⁾ erkennen. Diese ist neben den unten aufgeführten zahlreichen Charakter- und Verbandscharakterarten der *Querceto-Carpineten* durch die *Differentialarten der feuchten Gruppe*¹⁾ dieser artenreichen Waldassoziation wie *Athyrium filix femina* 3.3, *Carex remota* +.2, *Veronica montana* +.2, *Impatiens noli tangere* 1.1, *Stachys silvatica* 1.2, *Lysimachia nemorum* +.2 und im engeren durch die *Differentialarten des Querceto-Carpinetum „asperuletosum“* *Asperula odorata* 3.3, *Melica uniflora* 1.2, *Dryopteris filix mas* 1.1 (und *linneana* +.2) und durch das Fehlen von *Sanicula europaea* gekennzeichnet. Die Gesellschaft enthält an *Charakterarten der Querceto-Carpineten*: *Stellaria holostea* 1.2, *Catharinaea undulata* +.2, an *Fagetaliaarten*: *Milium effusum* 3.3, *Epilobium montanum* +.1, *Viola silvatica* 1.1, *Anemone nemorosa* +.1, *Phyteuma spicatum* 1.1, *Scrophularia nodosa* +.1, *Poa nemoralis* +.2, *Moehringia trinerva* +.1, *Circaea lutetiana* 1.1, *Fagus-Anwuchs* +.1, *Prunus avium-Anwuchs* +.1, *Tilia-Anwuchs* +.1, *Lactuca (Cicerbita) muralis* 1.1, *Carex silvatica* 1.1, ferner an *Begleitern der Fagetalia* *Rubus idaeus* 1.2 und an *durchgehenden Begleitern der Querceto-Carpineten und Querceto-Betuletum* *Rubus fruticosus coll.* 1.2, *Luzula albidula* +.2, *Lonicera periclymenum* +.1, *Solidago virga aurea* +.1, *Mnium hornum* +.2, *Dryopteris austriaca* ssp. *spinulosa* +.1, *Epilobium angustifolium* +.1. Einige zum Verband der bodensauren Eichen-Birkenwälder durchgehende Begleiter bringen den Silikatbodencharakter dieses tiefgründigen Lösses ohne Basenanreicherung auch in der Vegetation noch deutlicher zum Ausdruck.

2. Staatsforstamt Hofgeismar, Abt. 4 (westlich des Reinhardswaldes).

Lage: Sanfter SW-Hang, 240 m Seehöhe.

Klima: Günstig, Eichenmischwaldklima der Hügellandstufe, vgl. in einzelnen Tabelle 1 (S. 28—29).

Geologische Formation: Lößlehm über SM₂. O. v. Linstow weist in seinen Erläuterungen zu Kartenblatt Trendelburg (1928) darauf hin, daß in

¹⁾ Vgl. hierzu R. Tüxen. Die Pflanzengesellschaften Nordwestdeutschlands. Hannover 1937. — H. Ellenberg. Über Zusammensetzung, Standort und Stoffproduktion bodenfeuchter Eichen- und Buchenmischwaldgesellschaften Nordwestdeutschlands. Mitt. der Flor. soz. Arbeitsgemeinschaft in Niedersachsen, 1939, H. 5. C. V. Engelhard, Hannover. — F. K. Hartmann. Über den waldbaulichen Wert des Grundwassers II. Mitt. aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft. Verlag M. und H. Schaper, Hannover 1941.

den höchsten Schichten der Bausandsteinzone sm_2 , also zum Röt hin, ähnlich wie in der Tonsandsteinzone sm_1 des Hauptbundsandsteins auch Toneinlagerungen (nicht selten sogar kalkige Schiefertone) vorkommen können. Im vorliegenden Beispiel ist eine 50 cm mächtige Lößlehmschicht von wein- bzw. karminrotem feinsandigen schwach tonigem Verwitterungslehm des SM_2 unterlagert.

Boden: Humusdecke: 2—3 cm modriger Auflagehumus, schichtig, dicht gelagert, vorjährige Laubdecke in langsamer Zersetzung.

Oberboden: A_1 0—5 cm humoser, stark schluffig-feinsandiger Lößlehm (Staublehm, z. T. verlagert), etwas vergraut, leicht gebleicht, ziemlich dicht, sauer, S-Wert mäßig, Up-Wert demgegenüber relativ hoch, S- und Up-Wert über Durchschnitt, V-Wert sehr niedrig. Gesamtlösliches 8,0 (ähnlich wie A_1 des Kattenbühler Profils). Man vergleiche hierzu untenstehende Tabelle 5.

A_3 von 5—40 cm Lößlehm wie vor, stark porig, fast „schaumig“ porig, sehr locker, reich an Silikatmehl, leicht zerbröckelnd in kantige Polyeder, karbonatarm, (mäßig) sauer, humusarm; daher auch S- und Up-Werte in geringeren absoluten Werten auftretend, aber V-Wert höher als im A_1 (vgl. Tab. 2). Der Wert des Gesamtlöslichen mit 8,31 % entspricht dem (gleichen) Wert für den A_3 des Kattenbühler Lößprofiles.

Tabelle 5.

Reaktions- und Basenverhältnisse sowie Nährstoffvorrat von mineralogisch untersuchten Waldböden.

Boden-		Azidität			Basensättigung				Nährstoff- vorrat (Gesamt- löslich im 1 stünd. kochenden HCl-Auszug von d = 1,15)
Horiz- ont	Tiefe	PH H ₂ O	PH KCl	Austausch- azidität in KCl ccm 0,1 n Na OH	S mval	Up mval	S+Up mval	V	
Beispiel 2 Forstamt Hofgeismar Abt. 4 (Löß über Verwitterungsboden v. mittl. Buntsandstein).									
A ₁	1—5	4,23	3,82	23,35	5,09	8,35	13,44	37,84	8,00
A ₃	28—38	4,44	3,99	23,60	3,32	3,50	6,82	48,70	8,31
C	60—70	4,67	3,91	39,91	9,06	6,17	15,23	59,47	14,92
Beispiel 5 Forstamt Hofgeismar, Forstort Schöneberg, Abt. 72 (Lößlehm über Basaltverwitterungsboden).									
A ₁	1—5	4,42	3,94	13,69	6,21	6,70	12,91	48,11	7,40
A ₃	28—35	4,56	3,97	13,59	3,75	4,00	7,75	48,35	8,41
C	50	6,03	4,58	1,61	33,73	11,03	44,76	75,36	48,21
Beispiel 6 Forstamt Hofgeismar, Abt. 109, Forstort Deiselberg, Ostseite (Basaltverwitterungsboden) mit Spuren von Löß- beimengung).									
A ₁	1—5	5,20	3,89	4,93	16,94	17,22	34,15	49,59	27,20
A ₃	25—40	5,68	4,56	2,72	16,82	9,24	26,06	64,55	30,38
C		6,36	4,72	0,60	28,54	8,26	36,80	77,56	40,32

Unterboden: 40–60 cm Übergangshorizont und -schicht: Lößlehm, kompakt (B) in tonig-lettingen SM₂-Verwitterungsboden übergehend.

C₁ dunkelroter Lehm von SM₂, lettig, mit hohem Feinsandanteil (ähnlich wie der überlagernde Löß), karbonatarm, sauer, hohe Austauschazidität. S-Wert ziemlich hoch, wesentlich höher als im Oberboden, Up- und (S + Up-) Werte über Durchschnitt.

Die Armut des Lößoberbodens an beiden Glimmerarten dürfte sich für die Kali- und Magnesiaversorgung des Oberbodens ebenso ungünstig auswirken wie der hohe Quarzgehalt. Sein relativ hoher Plagioklasgehalt neben dem hohen Alkalifeldspatgehalt sowie die hochlichtbrechenden Mineralien deuten aber auf eine Herkunft des Lösses von wahrscheinlich günstigerer Quelle als der derzeitigen SM₂-Unterlage, die nach der Analyse des C-Horizontes in dem Gehalt an wertvollen bodenbildenden Mineralien hinter dem auflagernden Löß etwas zurückbleibt (mit Ausnahme des Muskowits als Kalilieferanten und der zersetzten Feldspäte). Serpentin, Augit, Olivin und das für die Basaltverwitterungshorizonte charakteristische Gel fehlen sowohl dem aufliegenden Löß wie dem SM₂-Untergrund. Ein gewisser Ausgleich für die im Oberboden fehlende Kaliversorgung ist durch den muskowithaltigen Untergrund des mittleren Bundsandsteins gegeben. Umkrustetes Eisen Fe (OH)₃ findet sich in dem stark verwitterten Lößoberboden in geringen Mengen und fehlt dem SM₂-Untergrund.

Bestand und Waldgesellschaft: Der heutige Bestand (*Quercus robur* und Bastard 4.5; *Sorbus aucuparia* +.1) entspricht nicht der vollen natürlichen soziologischen Zusammensetzung und Leistungsfähigkeit des Standortes. Ein in Rücksicht auf die früher übliche Waldweide weitständig gepflanzter Alteichenbestand, infolge des lichten Standes von mäßiger Eichenbonität bei abgerundeten Eichenkronen und von Hainbuchengewuchsgruppen aus seitlichem Anflug unterstellt, hat eine üppige Grasflora mit bestimmten Kräutern und Moosen zur Ausbildung gebracht, die als eine Verlichtungsphase des sauren Eichen- (Buchen-) Hainbuchenmischwaldes, des *Querceto-Carpinetum luzuletosum albidae*, zu deuten ist. Es treten u. a. als *Differentialarten* dieser Waldgesellschaft auf: *Luzula nemorosa* (albida) 1.2, *Festuca heterophylla* 2.2, *Lathyrus montanus* +.1, sowie eine Reihe von *Gruppendifferentialarten*, die in den Traubeneichen-Birkenwäldern der Schweiz und Süddeutschlands des sog. *Quercetum medioeuropaeum* Braun-Blanquets (1932) sehr charakteristisch auftraten und deshalb als besondere Gruppe (von Tüxen 1937) in der Literatur für die soziologische Kennzeichnung ähnlicher nordwestdeutscher *saurer Traubeneichen-Birkenwälder* und von mir 1941 für diejenige entsprechender mitteldeutscher Trauben-Eichen-Birkenwälder auf stärker quarzhaltigen Sanden bzw. Sandsteinböden ausgeschieden wurden. Hierzu können gerechnet werden: außer der Traubeneiche und der erwähnten *Luzula nemorosa*, *Teucrium scorodonia* +.2, *Solidago virga aurea* +.1, *Veronica officinalis* +.1. Die Labilität des Oberbodens und der Vegetationsdecke in Abhängigkeit von wirtschaftlichen, bodenversäuernden und -verdichtenden Einflüssen kommt durch den hohen Anteil *azidiphiler Arten* des *Quercion-Verbandes* der sauren Eichenwälder und ihre Trabanten zum Ausdruck wie durch die Verbandscharakterart *Holcus mollis* 2.2 und die azidiphilen Begleiter der *Querceto-Betuleten* *Agrostis vulgaris* 4.4, *Vaccinium myrtillus* 2.3, *Potentilla tormentilla* (erecta) 1.2, *Galium saxatile* 2.2, *Entodon* (*Hypnum*) *Schreberi* +.2, *Scleropodium purum* +.2, *Anthoxanthum odoratum* 2.2, während die Zugehörigkeit dieser Gesellschaft zum Verbands der (anspruchsvolleren) Eichen-Buchen-Hainbuchen-Mischwälder (vorläufig von Tüxen, a. a. O. als *Fraxino-Carpinion* in die Literatur eingeführt) durch das Auftreten von *Charakterarten* der *Querceto-Carpineten* wie *Carpinus betulus* 3.3, *Stel-*

laria holostea 1.2, Catharinaea undulata +.2, von Ordnungscharakterarten der Fagetalia und von Eichen-Buchen-Hainbuchenwald-Verbandscharakterarten des „Fraxino-Carpinion“ wie Viola silvestris 3. 1—2, Lysimachia nemorum 1. 2—3, Anemone nemorosa +.2 und durch eine Reihe von an die Querceto-Carpineten gebundenen Begleitern wie Rubus idaeus 1.3 (auf Lücken bis 4.5), Deschampsia (Aira) caespitosa 1.2, Dactylis glomerata 1.1, Athyrium filix femina +.1, Urtica dioica 1.2, Galeopsis tetrahit +.2 sichergestellt ist. Der Übergangscharakter dieser Gesellschaft zwischen dem Verbands der anspruchsvollen Laubmischwälder und der weniger anspruchsvollen Eichen-Birkenwälder (ohne die anspruchsvolleren Laubhölzer Buche, Ahorne, Linde, Kirsche, Esche usw.) kommt weiterhin noch durch das Auftreten von Begleitern zum Ausdruck, die sowohl in den Querceto-Carpineten als auch in den Querceto-Betuleten vorkommen: Lonicera periclymenum +.1, Polytrichum formosum (attenquatum) 2.2, Dryopteris austriaca ssp. spinulosa +.1, Rubus fruticosus coll. +.2.

Ein interessantes Beispiel, wie Standortaufnahme, Boden- und mineralogische Analyse, Bestandes- und Vegetationsaufnahme zusammen die auch praktisch wichtige Übergangsstellung dieser Standortseinheit bis ins einzelne präzisieren.

3. Forstamt Schmalkalden.

Stadtwald Brotterode, Abt. 118 (hart ostwärts der Straße Auwallenburg-Brotterode), Thüringer Wald, nahe Inselsberg.

Lage: W-Hang, lehn/sanft, Unterhang des Seimberges; SH 550 m.

Klima: submontan, Buchenmischwaldstufe im Übergang zur Eichen-Mischwaldstufe, vgl. näher Tabelle 1 (S. 28—29).

Geologische Formation: Verlagerter Löß (Unterhang) mit Überrollung und Einlagerung von Blöcken und Schutt von Granit über Granit des Seimberges. Dieser ist als gleichkörniger grober Biotitgranit ausgebildet (auf Kartenblatt Ruhla, erläutert von E. Zimmermann, als Gg, auch als gleichkörniger Granitit — im Gegensatz zu porphyrischen Graniten — bezeichnet).

Boden: ein kolloidreicher verlagerter Lößlehm von über 1,5 m Mächtigkeit ist im mäßigen Ausmaß mit Granitverwitterungsschutt aller Gesteinsgrößen bis zum Grus und Grobkorn durchsetzt. Der Grundcharakter dieses Hangfußbodens als Lößlehm ist einwandfrei. Der Löß erhält aber aus dem Granitverwitterungsmaterial eine mineralische Anreicherung, die in der mineralogischen und bodenchemischen Analyse sowie durch den höheren Gehalt einerseits an Kolloiden (Rohtonen), andererseits an grobkörnigem Material zum Ausdruck kommt. Eine bodenklimatische Horizontierung ist infolge der nachschaffenden Unterhanglage weder morphologisch noch durch die Bodenanalyse nachweisbar und auch nicht zu erwarten gewesen. Der Reichtum an im breiten A₁-Band gleichmäßig verteilten und nach unten langsam ausklingenden milden Humus von schwachen Säuregraden und im A₁ fast fehlender Austauschsäure kommt durch die hohen Glühverlustzahlen zum Ausdruck, die in dem ungegliederten Hangfußboden noch in 65—80 cm Tiefe mit 7 % einen hohen Wert erreichen.

Der Lößlehm ist nach seiner Schlämmanalyse als körniger Lehm mit hohem Kolloid-, Schluff- und relativ hohem Feinsandgehalt (bei ca. 7 % Mittelsand, 5 % Grobsand von 1,0—0,5 mm und 6 % von 1—2 mm) zu bezeichnen.

Die mineralisch nachschaffende Kraft des humusreichen Oberbodens A₁ durch Granitüberrollung kommt in den auffällig hohen Sättigungswerten (ohne und bei der Zerstörung der Humuskolloide durch H₂O₂) zum Ausdruck; die S-Werte dieses Horizontes entsprechen — vergleichungsweise betrachtet — fast

dem (heute vorhandenen) Basenvorrat der im folgenden untersuchten C-Horizonte der nährstoffreichen Basaltverwitterungsböden des Forstamtes Hofgeismar. Die entsprechenden Werte der untersuchten Unterbodenschicht liegen zwar noch relativ günstig, aber deutlich abgesetzt niedriger. Bei der Nährstoffanalyse treten diese Unterschiede zwischen Ober- und Unterboden allerdings ebensowenig auf wie bei der mineralogischen Analyse. Die im Boden mineralisch und bodenchemisch schlummernden Kräfte sind offenbar an der Oberfläche unter Beteiligung des der unmittelbaren Verwitterung stärker ausgesetzten Hangschuttes und der Humusstoffe besser mobilisiert als im Unterboden. Vorhanden sind sie auch hier in auf die Dauer wesentlich höherem Umfange als bei dem Kattenbühler „reinen“ Lößboden, bei dem selbst das ärmere Buntsandsteingeröll fast fehlt. Im Zusammenhang mit den mineralischen Analyseergebnissen der vorstehenden Arbeit fällt auf, daß mit der Abnahme des Quarzgehaltes und der starken Zunahme der Glimmer, vor allem des Biotitglimmers, zunächst eine allgemeine Anreicherung an den Stoffen, die die Träger der Bodenabsorption, die Alumosilikate, aufbauen, Hand in Hand geht, im besonderen auch der Kaligehalt und nicht unbeträchtlich auch der Magnesiagehalt gegenüber gleichwertigen Schichten des Kattenbühler Lösses ansteigt. Diese werden durch das Auftreten von Kalkfeldspat (Plagioklas als basischer Andesin-Kalknatronfeldspat mit 7 bzw. 9%) sowie infolgedessen durch einen höheren Prozentsatz an CaO und durch die beträchtlich höheren Anteile an zersetztem Feldspat und hochlichtbrechenden Mineralien mit grüner Hornblende) mit ihren bodenchemischen Folgen übertroffen. Die Verf. weist daher mit Recht auf eine leichtere Aufschließbarkeit der Mineralstoffreserven dieses granitbeeinflussten Lösses und seine größere Fruchtbarkeit gegenüber dem Kattenbühler Lößprofil hin. Ähnliches gilt auch gegenüber dem zuvor erwähnten Hofgeismarer Löß über SM₂ (Abt. 4), wenn auch infolge des ungünstigeren Wasserhaushaltes dieses Hofgeismarer Lößbodens (SW-Lage, flachgründiger) die Mobilisierung dieser Nährstoffreserven in der Leistung des Bestandes und dem Vegetationsbilde stärker herabgesetzt erscheint, als diese rein nach der mineralischen und Bodenanalyse im Vergleich mit dem stofflich ähnlichen, leistungsmäßig aber besseren tiefgründigeren und frischeren Kattenbühler Lößprofil zu erwarten wäre.

Bestand und Waldgesellschaft: Dieser so begründeten Fruchtbarkeit des vorliegenden Hangfußlößbodens mit Verwitterungsschutt eines mineralisch kräftigen Granits mit günstigster Wasserversorgung entspricht auch die aufstockende naturgemäß zusammengesetzte Waldgesellschaft. Die ungleichaltrige fast plenterartig aufgebaute bis 150jährige Baumschicht besteht aus Bergahorn und Spitzahorn mit 3.3, Esche 1.1, Bergulme 1.2, Buche 1.2 und Stieleiche 1.1 (diese gepflanzt). Ihr folgt eine reichhaltige Strauchschicht von Bergulmen-Anwuchs 2.1—2, Eschen-Anwuchs (*Fraxinus excelsior*) 1.1, Berg- und Spitzahorn-Anwuchs 1.1, Hasel +.1, Schneeball (*Viburnum opulus*) +.1, *Lonicera nigra* 1.1, *Ribes alpinum* 1.1, Eberesche (*Sorbus aucuparia*) +.1 und Himbeere (*Rubus idaeus*) +.1. Die Krautschicht ist voll (100%) bestockt. In ihr finden sich an *Charakterarten der Querceto-Carpineten und Verbandcharakterarten:* *Fraxinus excelsior*-Anwuchs und Keimlinge 2.1, *Stellaria holostea* +.1, *Viburnum opulus* +.1, *Aegopodium podagraria* 2.2, *Acer pseudoplatanus* 1.1, *Geum urbanum* 1.2. *An Charakterarten der Fageten und des Fagionverbandes:* *Fagus silvatica* Anwuchs +.1, *Asperula odorata* 2.3, *Mercurialis perennis* 4.3, *Melica uniflora* 1.2. *An Fagetalia-* (Ordnungscharakterarten-) *Arten:* *Pulmonaria obscura* 1.2, *Polygonatum multiflorum* 1.1, *Scrophularia nodosa* +.1, *Cicerbita* (*Lactuca*)

muralis +.1, Actaea spicata 1.1, Paris quadrifolius 1.1, Stachys silvaticus 1.1, Cardamine (Dentaria) bulbifera +.1, Arum maculatum +.1, Campanula trachelium +.1, Lamium Galeobdolon 1.2, Galium silvaticum 1.2, Milium effusum 2.2, Asarum europaeum 2.2, Lilium martagon +.1, Senecio Fuchsii +.1, Bromus asper (Benekeni) 1.2, Sanicula europaea +.1. Als *Differentialarten*, die zugleich einer *feuchten Subassoziationsgruppe* der Querceto-Carpineten angehören, finden sich in diesem submontanen, frischen Buchen-Mischwalde: Impatiens noli tangere 3.3, Urtica dioica 1.2, Athyrium filix femina +.2; sie kennzeichnen diese Gesellschaft als ein Acereto-Fagetum einer Impatiens-Urtica-Variante auf frisch-humosem Oberboden und trennen sie als Subassoziation von der großen Buchenwald-Assoziation des Fagetums. Ihnen treten als weitere *frisch-feuchte Differentialarten* hinzu: Fraxinus excelsior, Ulmus montana und Acer pseudoplatanus in allen drei Vegetationsschichten, Equisetum silvaticum +.1, Chrysosplenium alternifolium +.2, Stellaria nemorum 1.2 (an wasserzögiger Rinne bis 2.2—3) und als frische Begleiter Aspidium filix mas 1.1, Oxalis acetosella 1.2, Polygonatum verticillatum 1.1, Geranium Robertanum 1.1. Azidiphile Arten (Säurezeiger) fehlen dieser Gesellschaft völlig.

Die gute Wuchsleistung sämtlicher Holzarten (Buche etwa II. Ertragsklasse) innerhalb dieser anspruchsvollen Waldgesellschaft bestätigt von der vegetativen Seite her den mineralogisch-bodenkundlichen Befund, daß es sich um einen ausgesprochen günstigen, fruchtbaren Waldstandort handelt. Die klimatischen Daten (hohe Niederschläge, geringere Temperaturen, höhere Trockenheitsindexzahlen) heben ihn aus der unteren Eichen-Mischwaldzone heraus und erklären den soziologisch-systematischen Befund, daß wir eine Buchenmischwaldgesellschaft im untersten Streifen der montanen Buchenwaldzone vor uns haben, die infolge ihrer frischen Unterhanglage als Acereto-Fagetum 'ausgebildet' ist.

4. Staatsforstamt Hofgeismar.

Stadtwald Hofgeismar, Forstort Westberg, Abt. 16 (am Ringweg).

Lage: Oberer Mittelhang, ONO, lehn (unten sanft auslaufend), 300 m Seehöhe.

Klima: Günstig, Eichenmischwaldklima der oberen Hügellandstufe, vgl. im einzelnen Tabelle 1 (S. 28—29).

Geologische Formation: Die Profile am frisch angelegten Wegeanschnitt des Ringweges lassen eine 60—70 cm mächtige Lößlehmedecke von weinroter Färbung über Gesteinsboden von Basalt (im Bereich der untersuchten Standortseinheit) erkennen, die von Basaltblöcken und -Geröll überlagert und durchsetzt ist. Der Basalt des Westberges, den heute ein Kranz von mittlerem Muschelkalk umgibt, ist nach v. Linstow (Erl. zu Blatt Trendelburg 1928) ein Nephelin-Melilithbasalt, der reich an Olivinausscheidungen ist. Den festen Basaltkern umgeben stärker zersetzte Tuffe als „dunkelrote unreine Tone mit blasigen Basaltschlacken“ (O. v. Linstow) oder, wie im vorliegenden Falle örtlich festgestellt, tief weinrote Letten. Der Löß hat seine mattweinrote Färbung z. T. von diesem Untergrund (durch Vermittlung der Sickerwässer), z. T. von dem unmittelbar in dem Löß eingebetteten bzw. ihn überlagernden Basaltschutt. Die mineralisch befruchtende Wirkung des Basaltschuttes kommt deutlich durch das Auftreten der sonst im Löß fehlenden Mineralien Serpentin, Augit, Olivin zum Ausdruck.

Boden: Unter einer fast zersetzten Humusdecke von Mull mit wenig jährigen Laubresten und einem schmalen humosen A₁ von kaum 4—5 cm findet sich als Oberboden (A₂) eine 60—70 cm mächtige, schluffreiche, feinsandige,

etwas verlagerte; aber hinsichtlich der Korngrößenverteilung typische Lößlehm-schicht mit einigen größeren und kleineren in ihr eingebetteten Basaltgeröllen. Dieser lößartige Staublehm ist locker gelagert, fast schaumig-porig und mit zahlreichen kleinen und größeren Hohlräumen und Wurzelkanälen durchsetzt. Er zerbröckelt bei leichtem Fingerdruck in viele kleine kantige Polyeder und ist infolge der aus dem Basaltgestein und -Geröll hervorsickernden Bodenlösung bei gelblichem Grundton matt weinrot gefärbt. Der humose A_1 weist einen nur mäßigen Säuregrad bei hohem S-Wert und auch ziemlich hoher relativer Sättigung auf, die sich im ganzen Profil wiederfindet. Auffallend ist, daß der S-Wert im humusärmeren A_3 -Horizont zwar absinkt, aber einen noch relativ hohen Wert hält, während der Up-Wert sehr niedrig liegt und infolgedessen die relative Sättigung noch ansteigt (79 % gegenüber 73 % im A_1). Die Säurezahlen des A_3 sind gegenüber den bisher besprochenen Lößhorizonten auffallend gering (p_H mit 6,5 fast neutral); Austauschsäure fehlt fast ganz. Der Nährstoffvorrat, ausgedrückt durch das Gesamtlösliche, (12,2 bzw. 15,7 %) ist relativ hoch (entspricht etwa den B-Horizonten des Kattenbühler Lößlehmprofiles), erreicht aber nicht annähernd die Werte des granitbeeinflussten Hangfußlösses von Brotterode (23 bzw. 27 %). Die Werte des Gesamtlöslichen und der einzelnen Nährstoffe liegen im A_1 durchweg etwas niedriger als im A_3 , entsprechen im allgemeinen einem guten Durchschnitt der Waldböden und liegen im A_3 meist im oberen Drittel der Vergleichswerte von Tabelle 2 (S. 30—31). Auffällig hoch sind die Werte für MgO ; auch diejenigen von Na_2O , CaO und P_2O_5 liegen weit über Durchschnitt, während die Tonerdesilikatbildner SiO_2 und Al_2O_3 mit Fe_2O_3 im A_3 zwar etwas höher als im A_3 des Kattenbühler reinen Lösses, aber wesentlich niedriger als im granitbeeinflussten Brotteroder Löss liegen.

In der mineralogischen Analyse der Fraktion 200—20 μ des A_3 kommt der Lößcharakter dieser Staublehmauflage deutlich zum Ausdruck durch den hohen Quarzanteil, durch den geringen Glimmeranteil, aber relativ hohen Gehalt an Feldspäten (insbesondere Alkalifeldspäten); der Löß von Hofgeismar Abt. 4 und der Lößlehm-B-Horizont vom Kattenbühl kommen dieser Zusammensetzung am nächsten.

Die mineralisch nachschaffende Wirkung der wenigen, hier relativ schwerer verwitternden Basaltgerölle ist zwar nicht so stark wie bei den leichter angreifbaren Granitgeröllen des Brotterodeprofils. Sie zeigen aber doch ihre Verwitterungsspuren durch die Anteile an Augit, Olivin, Spuren von Serpentin, einen basischen Plagioklas und ein eigenartig gelbliches Gel. Der Augit bringt CaO , MgO , der Olivin (als Orthosilikat) MgO , Fe_2O_3 , was durch die chemische Bodenanalyse deutlich wird.

Der Unterboden (unterer A_3 im Übergang zu C_1) ist noch in 110 cm Tiefe nach dem mineralogischen Befund der Verf. der vorangehenden Arbeit kein reiner Basaltverwitterungsboden, sondern entweder ein Tuff, wie er (s. o.) von v. Linstow für den Westberg erwähnt wird, oder noch stärker vom überlagernden Löß beeinflusst. Er zeigt eine lettige Ausbildung und ist neben noch hohen Feinsand- und Schluffanteilen, die für eine Lößeinschlammung nach unten sprechen könnten, durch einen höheren Kolloidanteil als im A_3 , durch seine neutrale Reaktion, durch einen sehr hohen S-Wert, sowie hohen Up- und (S + Up)-Wert gekennzeichnet. Die chemische Bodenanalyse im Salzsäureauszug zeigt vielfach Höchstwerte (SiO_2 mit 20,06, Gesamtlösliches mit 41,64 %) oder doch auffällig hohe Werte (man vergleiche hierzu die Nährstoffübersicht (Tab. 2, Seite 30—31) der Horizontspalte „90 % aller Böden liegen“ . . .). Augit und Olivin als dem in Basalt entstammende Mineralien liefern, wie bei der Wirkung der Basaltgerölle im A_3 erwähnt, höhere Werte von MgO , CaO bzw. Na_2O . Auf diesen Horizont

beschränkt ist ein eigenartiges Gel, das nach Ansicht der Analytikerin als Kiesel-säure-Gel (Opal) angesprochen werden muß und wahrscheinlich als Lieferant für die hohen SiO_2 und Al_2O_3 -Werte in Frage kommt.

Hinsichtlich der gleichmäßigen Wasserversorgung des Profils auch in Trockenzeiten verhält sich der basenhaltige Basaltverwitterungslehm ähnlich günstig wie derjenige des nächsten Beispiels.

Bestand und Waldgesellschaft: Dieses hinsichtlich der gleichmäßigen Wasserversorgung entscheidende Standortmerkmal drückt sich in der naturgemäßen Waldgesellschaft des frischen Buchenmischwaldes aus, deren Zusammensetzung aus der nachfolgenden Vegetationsliste hervorgeht.

Der über 100jährige geschlossene Buchenbestand I.—II. Ertragsklasse, gemischt mit einigen Eschen, die bei der nicht besonders hervortretenden Bodenfrische von der üppigen Buche meistens überwachsen oder bedrängt werden, entspricht hinsichtlich seiner Leistung und seiner Vegetationszusammensetzung der Fruchtbarkeit dieses zweischichtigen Profiltyps von mäßig mächtigem Lößlehm (60—70 cm) über Basaltlehm mit Basaltüberrollung und -Durchdringung. Die Waldgesellschaft ist nach ihrer Artenvergesellschaftung als frischer Buchenmischwald (*Querceto-Carpinetum asperuletosum* Ellenberg 1939) einer anspruchsvollen Elymus-Variante gekennzeichnet, und zwar in der Baumschicht durch Buche 5.5, Esche 1.1, in der artenarmen Strauchschicht durch *Sambucus niger* +.1, in der locker verteilten Kraut- und Mooschicht durch die *Charakterarten der Querceto-Carpineten*: *Catharinaea undulata* +.2, *Primula elatior* +.1, *Stellaria holostea* +.1, ferner durch einzelne *Differentialarten einer bodenfrischeren Subassoziationsgruppe der Querceto-Carpineten* *Fraxinus excelsior* 1.1, *Athyrium filix femina* 1.2, *Urtica dioica* +.1 (Arten dieser Gruppe mit höheren Feuchtigkeitsansprüchen fehlen!), sodann durch *Differentialarten des Querceto-Carpinetum asperuletosum*, die diese Gesellschaft besonders charakterisieren: *Fagus silvatica* 5.5, *Asperula odorata* 2.2, *Melica uniflora* 2.2, *Dryopteris (Aspidium) filix mas* +.1 und zwei andere, diese Subassoziation bevorzugende Farne *Dryopteris linneana* 2.2 und *Aspidium montanum* +.1 und schließlich durch die speziellen *Differentialarten der Elymus-Variante*: *Mercurialis perennis* 1.2 und *Elymus europaeus* +.2. Eine größere Anzahl anspruchsvoller *Fagetalia-Ordnungscharakterarten* festigt das soziologische Gefüge dieser sog. frischen Buchen-Mischwald-Subassoziation innerhalb der Gesamtassoziations des *Querceto-Carpinetums*: *Milium effusum* 1.2, *Scrophularia nodosa* 1.1, *Galeobdolon luteum* (*Lamium Galeobdolon*) 1.2, *Epilobium montanum* 1.1, *Lactuca (Cicerbita) muralis* +.1. *Begleiter*: *Oxalis acetosella* 2.2. — Azidiphile Arten fehlen auch dieser Waldgesellschaft.

Gegenüber der Silikatboden-Variante desselben *Querceto-Carpinetum asperuletosum* auf dem Kattenbühler Lößlehmprofil (Beispiel 1) zeichnet sich diese Elymus-Variante durch das Auftreten zahlreicher anspruchsvollerer Arten und durch das Fehlen von *Festuca silvatica*, *Calamagrostis arundinacea* und *Luzula albida*, ferner durch noch günstigere Ertragsleistung bei Buche aus, wenn auch die Bodenfrische nach dem gleichzeitigen örtlichen Befund und nach den bekannten morphologischen Merkmalen für zeitweise auftretende Sickerwasserführung am hiesigen Oberhang zweifellos geringer ist als in der flachen Mulde der Abt. 94 (Kattenbühl) über dem dichten, wasserrückstauenden B-Horizont des tiefgründigen Lößprofils. Die lehmige, nährstoffreiche Verwitterung des bis in größere Tiefe aufgeschlossenen Basalt-(-Tuff) Verwitterungsbodens, dessen Strenge durch die Lößbeimengung im C_1 -Horizont gemildert wird, verursacht neben dem besser aufgeschlossenen Nährstoffvorrat eine ähnlich günstige, vor allem gleichmäßige Wasservorratsspeicherung im Untergrund, wie sie auch im nächsten, sehr verwandten Beispiel, zu beobachten ist.

5. Staatsforstamt Hofgeismar, Forstort Schöneberg Abt. 72.

Lage: Sanfter OSO-Hang oberhalb eines terrassenförmigen Absatzes, unterhalb des Gipfels des 323 m hohen Schöneberges (Ostseite); 300 m Seehöhe.

Klima: Günstig, Buchenmischwaldklima der oberen Hügellandstufe, vgl. im einzelnen Tab. 1 (S. 28—29).

Geologische Formation: Lößlehm von ca. 45 cm Mächtigkeit über Basalt. Der Basalt des Schöneberges (Erl. Blatt Trendelburg a. a. O.) durchbricht Wellenkalk und Röt und wird von Hezel als oberflächlich stark zersetzter, basaltischer Trachydolerit bezeichnet, der reich an Olivinausscheidungen ist.

Boden: Humusbeschaffenheit: Mull, mit geringen vorjährigen Laubresten.

Oberboden: A₁ 0—5 cm mild. humoser, mäßig saurer, lockerer, feinsandiger, schluffiger Lößlehm.

A₃ 5—45 (50) cm etwas dichter, mäßig saurer, aber poriger und zwischen den Fingern leicht zerfallender Lößlehm wie vor, hinsichtlich der Korngrößenzusammensetzung derjenigen des Westberges (Abt. 16) ähnlich, aber von nur halb so hohem S-Wert und ebenfalls niedrigerem S- und Up-Wert und geringerer relativer Sättigung ($V = 48\%$ im A₁ und A₃ gegenüber 73 bzw. 78% bei Abt. 16, Beispiel 4), daher auch saurer und im A₁ und A₃ mit ca. 16 ccm 0,1 n NaOH-Austauschsäure im KCl-Auszug behaftet. Nährstoffvorrat (Gesamtlösliches) mit 7,4 im A₁ und 8,4 im A₃ durchschnittlich oder wenig über Durchschnitt. Die Armut dieser relativ geringen Lößauflage ist durch die nur wenig nachschaffende und geröllführende kuppige Lage am westseitigen Gipfel des Schöneberges bedingt. Die mineralogische Zusammensetzung erklärt diesen bodenkundlichen Befund auf den ersten Blick. Ein hoher Quarz- und Feldspatgehalt (Alkalifeldspat und Plagioklas) bei geringem Vorrat an Glimmer und hochlichtbrechenden Mineralien und dem völligen Fehlen der dem Basaltverwitterungsboden charakterisierenden Mineralien kennzeichnet diesen aufgelagerten Staublehm als fast reinen Löß. Man vergleiche hierzu die A₃-Horizonte der ähnlich typischen Löss bei Beispiel 1, 2 und 4.

Unterboden: Um so reicher ist der schluffreiche Verwitterungslehm des durch die Durchwurzelung noch gut aufgeschlossenen Basaltuntergrundes (C₁) ab 50 cm Tiefe. Der S-Wert erreicht hier einen sehr hohen Betrag von fast 34 mval, desgleichen der S + Up-Wert mit rund 45 mval, so daß der V-Wert sich wie bei allen drei untersuchten Basaltverwitterungs (C₁)-Horizonten innerhalb der Prozentsätze von 75—77 hält. Der bisher höchste Betrag des Gesamtlöslichen von 48% läßt den Schluß zu, daß eine noch günstigere Nährstoffverteilung zu erwarten ist als bei dem Basaltverwitterungsboden von Abt. 16 und der im folgenden behandelten Basaltverwitterungsschicht (C₁) des Deiselbergprofils. Die Ursache für den Nährstoffreichtum dieses typischen Basaltverwitterungsbodens ergibt sich aus der Mineralanalyse der Verf.: Der Quarzgehalt liegt auffällig niedrig, bei etwa gleichen Feldspat- und Glimmeranteilen wie bei den Lößauflagen, während als basaltische Zersetzungsprodukte Anteile an Olivin und Augit, basische Plagioklase und das stark vertretene Gel die Bodenfruchtbarkeit dieses basischen Gesteins auslösen. Gleichzeitig wirkt der milde, schluffige Verwitterungslehm (im Gegensatz zur terrassenartig ausgebildeten bodenrückstauenden Lettenschicht der unmittelbaren Umgebung) auf den Wasserhaushalt günstig, indem er die ostseitige Schatthanglage durch eine gleichmäßige Wasserspeicherung verstärkt, ohne daß ein unregelmäßiger, die Durchlüftung hemmender Tagwasserrückstau in niederschlagsreicheren Zeiten erfolgt, der ein schlechter

durchlüftetes, dichteres, wechselfeuchtes Glei-Profil von entsprechenderarmorierung zur Folge haben würde.

Bestand und Waldgesellschaft entsprechen denjenigen von Beispiel 4 vom Westberg, das sich in seiner standörtlichen Gesamtwirkung sehr ähnlich verhält. Der günstigere Lößoberboden bei Beispiel 4 wird im vorliegenden Beispiel 5 durch den flachen, den Herzwurzeln der Buche ebenso wie den tieferwurzelnden Bodenpflanzen im mittelbar zugänglichen, besonders nährstoffreichen Untergrund ausgeglichen, auch wenn der Lößoberboden hier bodendynamisch nicht so vorteilhaft anzusprechen ist wie dort.

Der ähnlich (wie Beispiel 4) beschaffene, über 100jährige, wüchsige Buchenbestand weist dieselbe gute Ertragsklasse I—II für Buche nach Schwappach und die gleiche Holzqualität auf, ist jedoch nur noch vereinzelt mit Eschen durchstellt (Buche 5.5, Esche +.1). Die Strauchschicht enthält gleichfalls nur *Sambucus niger* +.1 und Eschen-Anflug 1.2. Bei dem etwas gelockerten Bestandesschluß von 0.9 (stellenweise bis 0.8 herabgehend) findet sich Buchenanwuchs mit 1.2. Die Krautschicht zeigt volle Begrünung (Deckungsgrad 100%). Von den *Charakterarten der Querceto-Carpineten* kommen vor *Catharinaea undulata* +.2; von den *Differentialarten einer frischeren bis mäßig feuchten Gruppe der Querceto-Carpineten*: *Impatiens noli tangere* 1.2, *Urtica dioica* 1.1, *Carex remota* +.2, *Athyrium filix femina* 1.1, *Senecio nemorensis* +.2; als hier besonders kennzeichnend *Differentialarten des Querceto-Carpinetum asperuletosum*: *Fagus silvatica* 5.5, *Asperula odorata* 3.3, *Melica uniflora* 4.4—5, *Dryopteris* (*Aspidium*) *filix mas* +.1, *Vicia sepium* 1.2 und als *Differentialart der anspruchsvollen Elymus-Variante*: *Elymus europaeus* 1.2. Weiterhin kennzeichnen diese Gesellschaft (ähnlich wie im vorigen Beispiel 4) die *Fagetalia*-Arten: *Milium effusum* 1.2, *Poa nemoralis* 1.2, *Carex silvatica* 2.2, *Brachypodium silvaticum* +.1, *Lamium Galeobdolon* 2.2—1, *Scrophularia nodosa* +.1, *Viola silvatica* +.1, *Circaea luteotiana* +.1, *Stachys silvatica* 1.1 und die Begleiter *Oxalis acetosella* 2.2, *Bromus asper* 1.1, *Dactylis glomerata* +.1, *Galeopsis tetrahit* 1.1—2, *Aira* (*Deschampsia*) *caespitosa* +.1. Hinsichtlich des Vergleichs dieser Waldgesellschaft, die derjenigen von Beispiel 4 entspricht, mit den Beispielen der Waldgesellschaften auf Lössen über Silikatgesteinen gilt das beim vorigen Beispiel 4 Gesagte.

6. Staatsforstamt Hofgeismar, Forstort Deiselberg, Abt. 109.

Lage: NO-Abfall des Deiselberges, etwa 10 m unter dem Basaltkopf, 380 m Seehöhe, lehn in Übergang zu sanft (3 km WNW Trendelburg).

Klima: Günstig, Buchen-Eichen-Mischwaldklima der oberen Hügellandstufe in Übergang zur unteren Buchenwaldzone. (Vgl. im einzelnen Tab. I S. 28—29).

Geologische Formation: Basaltoider Trachydolerit des Deiselberges (Erl. zu Blatt Trendelburg), ohne Lößauflage, mit Spuren von Lößbeimengung im Oberboden. Angeblich ohne Tuffmantel.

Boden: A₀ Mull, letztjährige Laubstreu in bester Zersetzung. A₁ 0—5 cm feinsandiger, stark schluffiger Lehm, humos, sehr locker und krümelig, bestens durchlüftet, viel Hohlräume, schwach sauer, hoher S- und Up-Wert, V = rd. 50 %, von hohem Nährstoffgehalt (Gesamtlösliches 27 %).

A₂ 5—40 cm (45), Bodenart wie vor, sehr locker und in z. T. humose Krümel leicht zerfallend, stark durchwurzelt, frisch, die Klümpchen fast schwammig, feinporig (Struktur basenangereichertem Löß nicht unähnlich), schwach sauer, hoher S-Wert (17 mval) wie vor, etwas geringerer Up-Wert (9 gegenüber 17 mval

im A_1), leidlich gute relative Basensättigung ($V = 64\%$); Gesamtlösliches hoch, 30% .

C_1 ab 45 cm, lehmig-, stark schluffiger Feinsand mit bemerkenswertem Mittelsandanteil (18%) als Verwitterungsboden von tuffartig erscheinendem Basalt (bzw. basaltoidem Trachydolerit), fast neutral, sehr hoher S-Wert (29 mval), ziemlich hoher Up-Wert (8), $S + Up$ sehr hoch, V relativ hoch (78%). Der Wert des Gesamtlöslichen liegt ähnlich wie bei Beispiel 4 (Westberg) sehr hoch (40%). Nur Beispiel 5 übertrifft ihn noch (mit dem bisherigen Höchstwert von 48%).

Die Korngrößenverteilung zeigt im A_3 trotz des überwiegend hohen Anteils der feineren Fraktion $20-0,02\ \mu$ einen wenig höheren Feinsandgehalt der Fraktion $200-20\ \mu$ als im C. Wenn auch eine geringere Lößbeimengung im A_3 hierdurch angedeutet erscheint, so läßt die mineralische Analyse durch den Nachweis der für den Basalt typischen Mineralien in beiden Horizonten keinen Zweifel, daß auch der A_3 in der Hauptsache als Basaltverwitterungshorizont zu kennzeichnen ist. Augit und Olivin treten im C_1 einmalig mit höchsten Werten (13 und 11%) auf, gleichfalls das von der Verf. näher beschriebene SiO_2 -Gel, das sich in allen drei Basaltverwitterungshorizonten mit ziemlich hohen Anteilen findet, und in beiden Horizonten ein ziemlich hoher Anteil an „Erz“. Es steht nach diesem Befund unter Berücksichtigung des stark zurücktretenden Quarzgehaltes — im C_1 noch stärker als im A_3 — außer Zweifel, das hier ein Basaltverwitterungsboden vorliegt, der im A_3 noch Spuren von Lößbeimengung enthalten kann. Die Merkmale, die Laatsch als Ursachen der Basaltfruchtbarkeit¹⁾ anführt, treten hier voll in Erscheinung.

Die Waldgesellschaft entspricht daher, wie schon bei den vorangegangenen Beispielen auf nicht sehr tiefem Basaltuntergrund, hier ganz besonders dieser mineralischen Fruchtbarkeit des allerdings flachgründigen Basaltbodens. Hierbei ist wie bei Muschelkalk- und anderen sehr nährstoffreichen, aber flachgründigen mitteldeutschen Gesteinsböden die Beobachtung zu machen, daß die Krautschicht solcher Waldgesellschaften besonders üppig und reich an anspruchsvollen Arten ist, das Höhenwachstum der Buche bzw. ihrer Mischhölzer (Esche, Bergahorn usw.) aber infolge Flachgründigkeit des Standortes zurück bleibt. Es entspricht einem überall festzustellenden Gesetz, daß die mehr oder weniger steinig, flachgründigen Kuppen und Oberhanglagen solcher nährstoffreicher Gesteinsböden trotz ihrer anspruchsvollen Krautschicht im Höhenwuchs und damit in der Ertragsleistung oft um mehr als eine volle Ertragsklasse gegenüber den lößüberlagerten Mittel- und Unterhängen zurückbleiben, ohne daß Degradationsanzeichen in der Krautschicht auftreten. Das mechanische Hindernis des flachgründigen Gesteinsbodens für die Tiefendurchwurzelung löst in der bekannten Korrelation des Wurzel- und Stammwachstums diese Erscheinung aus, obwohl die mineralisch nachschaffende Kraft eines solchen basischen Gesteinsbodens ausgezeichnet ist und die Krautschicht auch entsprechend reagiert. Eine Ausnahme bilden Böden mit größeren Blöcken, die in Spalten und Klüften das Eindringen von Baumwurzeln auch in die Tiefe ermöglichen (vgl. die zahlreichen basaltblockhaltigen Hänge des Hohen Meißners, der Rhön und des Habichtswaldes und Vogelberges innerhalb der Mitteldeutschen Landschaft oder des Roll und ähnlicher Basaltkegel in der nordböhmischen Landschaft). Innerhalb gleicher Hanglagen ist dann wieder der Nährstoffhaushalt auch für die Leistung

¹⁾ W. Laatsch. Tonmineralbildung in zwei Basaltböden. Z. Naturw. 95 (1941), Organ des Naturwissenschaftlichen Vereins für Sachsen und Thüringen zu Halle a. d. S.

der Böden entscheidend, wenn nicht andere Faktoren (Wasserhaushalt, Höhenlage usw.) stärker interferieren.

Im vorliegenden Falle kann es daher nicht überraschen, wenn bei dem Nährstoff- und Basenreichtum dieses Bodens eine Elymus-Variante des Querceto-Carpinetums asperuletosum mit hohem Anteil an Mercurialis 4.4, Arum maculatum 1.1 und vielen anderen anspruchsvollen Fagion- und Fagetaliaarten auftritt, die Ertragsleistung mit einer III. für Buche aber hinter der normalen günstigeren dieses Typs, die oft schon etwas tiefer am gleichen Hang auftritt, zurückbleibt. Da die Artenliste fast völlig derjenigen von Beispiel 5 entspricht, kann auf ihre erschöpfende Wiedergabe verzichtet werden. Es wird nicht überraschen, daß auch auf diesem sanften N-Abfall des bzw. der beiden Köpfe des Deiselberges (mit einer kleinen Mulde dazwischen) ein frischer Buchenmischwald einer mäßig feuchten Subassoziationsgruppe der Querceto-Carpineten mit den Differentialarten dieser Gesellschaft erscheint, da das Gestein wie bei vielen Basalten bodenwasserabschließend wirkt und die schmalen Spalten zwischen ihm mit dem mehligem Feinboden ausgefüllt sind.

In der vorliegenden Aufnahme sind gegenüber Beispiel 5 als weiterhin vorkommende Pflanzen zu erwähnen: *Epilobium montanum* mit 1.1, *Polygonatum multiflorum* mit +.1.

Zusammenfassung.

I. Allgemeine Gesichtspunkte.

1. Die Werte der Bodenanalyse insbesondere betreffs Nährstoff- und Basenvorrats, der Reaktionsverhältnisse usw. wurden durch die mineralogischen Analysen der gröberen Fraktion ursächlich nach Herkunft aus Gesteinszerfall geklärt und für die Beurteilung der mineralogisch-nachschaffenden Kraft der Böden und die daraus resultierende Bodenfruchtbarkeit herangezogen.

2. Die aus analytisch-praktischen Gründen von der Verf. gewählte Untersuchung der Feinsandfraktion 200—20 μ , deren fast gleichmäßiger Anteil an der gesamten Korngrößenverteilung für die Lößböden ungemein charakteristisch ist, vermittelt (— trotz vorläufiger Vernachlässigung des feinen Anteils, der die meisten als Zersetzungsprodukte unmittelbar zugänglichen Pflanzennährstoffe enthält, die durch das Salzsäurelösliche erfaßt werden —) einen fast überraschend guten Einblick in die verschiedene Zusammensetzung der Böden, obwohl hierbei der feine Anteil vernachlässigt werden mußte. Wenn auch diese Methode zunächst nicht die feinsten Zersetzungsprodukte, sondern nur den Anteil des Bodens erfaßt, der immer neue Stoffe liefert, also als Urquell der „nachschaßenden Kraft“ (vgl. Steinriede, Krauß u. a.) zu betrachten ist, finden ihre Ergebnisse eine von vornherein nicht zu erwartende Bestätigung durch die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Böden, wie sie in ihrer stofflichen Zusammensetzung und ihrer chemischen Dynamik, ferner im Waldertrage und der Bestandes- und Vegetationszusammensetzung (im Waldtyp bzw. der Waldgesellschaft) zum Ausdruck kommt.

Wittich¹⁾ weist in diesem Zusammenhange auf die Bedeutung der „Silikatgruppe“, worunter er den gesamten Nichtquarz zusammenfaßt, bei der Ertragsfähigkeit diluvialer Sandböden hin und diskutiert die Möglichkeiten zu ihrer mineralogischen Kennzeichnung auf nicht zu mühsame

¹⁾ Wittich, W., Natur und Ertragsfähigkeit der Sandböden im Gebiet des norddeutschen Diluviums. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen, 1942,

Weise für die praktische Auswertung. Nach Auslesen des Quarzes mittels Polarisationsmikroskopes bzw. Lupe und mittels Einbettungsflüssigkeit trennt er die übrigen Mineralien nach Schweregruppen.

Von besonderem Wert für die Beurteilung der Nährstoffverhältnisse des Bodens und seiner nachschaffenden Kraft, gerade auch im Zusammenhange mit der Vegetation und dem Ertrag der Waldgesellschaften bzw. der aufstockenden Bestände, ist die in neuester Zeit ausgebaute röntgenographische Untersuchung der Tonfraktion, wie sie im Beispiel 1 von Mehmel angewandt und von Correns¹⁾ u. a. beschrieben wurde. Sie wird neben der mikroskopischen, mineralogischen Untersuchung der gröberen Bestandteile zukünftig ergänzend für den Aufschluß der Nährstoffreserven heranzuziehen sein.

3. Böden von etwa gleicher mineralogischer Zusammensetzung und morphologisch und bodenanalytisch ähnlichem Aufbau hatten ähnlichen Wuchs- und Vegetationsverhältnisse, d. h. sie hatten gleichartig zusammengesetzte natürliche Waldgesellschaften mit entsprechender Artenliste und Vitalität zur Folge, wenn nicht andere Faktoren interferierten.

4. Durch den Nachweis gleichen Nährstoffhaushaltes, aber verschiedener Wuchsleistung und Vegetationszusammensetzung im natürlichen Waldtyp (Waldgesellschaft) ist die Voraussetzung für die Erforschung derjenigen Standortfaktoren und ihrer eindeutigen Wirkungsweise gegeben, die nicht im Nährstoffvorrat und seiner Mobilisierung liegen. Hierher gehören die Eigenschaften des Wasserhaushalts und der Dynamik des Bodens- und Grundwassers²⁾ in Verbindung mit klimatischen, orographischen und hydrographischen Standortfaktoren, ferner die physikalischen Bodenverhältnisse (Korngrößenverteilung, Lagerung, Struktur, Textur des Bodens) und ihre Einflüsse auf Bodenluft, aufnehmbares Bodenwasser, Wasserleitungsvermögen.

II. Zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse der mineralischen und der Boden- und Vegetationsanalyse nebst Ertragsleistung der Bestände bei fünf lößüberlagerten Gesteinsverwitterungsböden und einem Basaltverwitterungsboden mit Spuren einer Lößbeimengung.

1. Ein über 3 m mächtiges mehr oder weniger reines, tiefgründiges, frisches, karbonatarmes, Lößlehmprofil (Beispiel 1) vom Bodentyp eines kaum degradierten aber frischen braunen Waldbodens in günstiger klimatischer und orographischer (Schattthang-) Lage erzeugt einen wuchsfreudigen Laubmischwald vom Typ des Querceto-Carpinetum asperuletosum in einer frischen, relativ artenreichen Dryopteris linneana-Festuca silvatica-Variante mit guter Buchen- und Eichenbonität und -Qualität. Diese Variante ist häufig auf Löß über Buntsandstein und auf Silikatböden der regenexponierten W- und NW-Lagen und durch ihren auch in azidiphile Wälder übergreifenden Artenstamm ein Weiser für die Labilität des Bodens nach der sauren, ungesättigten Seite hin, wie sie in den Säuregraden und Sättigungswerten angedeutet ist (vgl. diese S. 32—33). Dieser tiefgründige Löß ist in seiner heutigen Korngrößenzusammensetzung als feinsandig-schluffiger Lehm und in seinem mineralischen Aufbau mit Hauptanteil Quarz und Alkalifeldspat und etwas Glimmer weitgehend

¹⁾ Correns, W., Mineralogische Untersuchungen an Böden. Bodenkde. u. Pfl.-Ernährung, 1940, 656—666.

²⁾ Vgl. auch Süchting, a. a. O. und Hartmann, Über den waldbaulichen Wert des Grundwassers I und II. Mitt. aus Forstwirtschaft und -wissenschaft, 1930, 385—437 und 1941, Heft 2 S. 1—130. Verlag M. und H. Schaper, Hannover.

verwittert und hat aus dem überliegenden schmalen Buntsandsteinband kaum eine mineralische Anreicherung zu erwarten. Deshalb ist die Erhaltung seiner Leistungskraft durch einen humuspfléglichen, tiefwurzelnden Mischbestand, beispielsweise der natürlichen Laubhölzer in Verbindung mit Lärche als ertragssteigernder Nadelholzart eine beachtenswerte wirtschaftliche Forderung, zumal ihm die kalkliefernden Plagioklase und die nachschaffenden Mineralien, wie sie die granit- und basaltbeeinflußten Lössе charakterisieren, fehlen.

2. Ein relativ flachgründiges, ebenfalls karbonatfreies Lößlehmprofil über lehmig-lettig verwitterndem, mithin auch wasserdurchlässigem, karbonatfreiem SM₂-Untergrund (Beispiel 2) in günstiger klimatischer, aber leicht verhagerter SW-Lage erzeugt einen auch von Natur aus¹⁾ schwach sauren Eichen-(Buchen-) Hainbuchen-Mischwald des Querceto-Carpinetum luzuletosum (IBler 1926, Tüxen 1937) und deutet damit eine Übergangsstellung zwischen dem Verbande und den Standorten der anspruchsvolleren Laubmischwälder (Querceto-Carpineten) der kollinen Eichen-Mischwaldstufe und dem Verbande des bodensauren Eichen-Birkenwaldes, des Querceto-Betuletum Nordwestdeutschlands bzw. des Quercetum mediöeuropaeum Mittel- und Süddeutschlands an. Dieses Zwischenglied zwischen zwei entsprechenden Standortgrundtypen²⁾ findet seine Deutung auch durch die mineralogische Unterstützung in Verbindung mit der chemischen Bodenanalyse unter Berücksichtigung der klimatischen und orographischen Standortsfaktoren: Die Werte für das Gesamtlösliche und für den vorhandenen austauschbaren Basenvorrat S entsprechen den Werten der gleichen Horizonte beim Kattenbühler Profil, die gleichen Werte für den SM-Untergrund entsprechen etwa den mittleren Werten des B-Horizontes vom Kattenbühler Lößprofil. Auch die Reaktionsziffern und relative Sättigung sind im A₃ in beiden Profilen ähnlich, im A₁ und C₁ ist dieses Profil jedoch saurer bzw. weniger gesättigt. Hier liegt ein Grund für die noch etwas größere Labilität dieses Profils. Die mineralische Analyse ergibt für das zur Diskussion stehende Profil etwas niedrigere Quarzwerte und ein wenig höhere Feldspatwerte unter Einschluß des hier auftretenden Plagioklaswertes. Dafür fehlt dem Löß der Glimmeranteil fast ganz, der jedoch im SM₂-Untergrund als Kaliglimmer (Muskowit) in ausreichendem Maße nachgewiesen wurde. Die mineralisch nachschaffende Kraft des wurzelerreichbaren SM₂-Untergrundes ist also mit Ausnahme einer ausreichenden Kaliversorgung gering, worin ein weiterer Grund für die durch die Vegetation zum Ausdruck kommende Labilität liegt.

3. Gegenüber dem tiefgründigen (Beispiel 1) und einem flachgründigeren Lößlehmprofil (Beispiel 2) auf mittlerem Buntsandstein hebt sich ein tiefgründiger verlagelter Lößlehm an einem frischen, nach W geneigten Unterhange eines Granitstockes (Beispiel 3, Seimberg, Thüringer Wald) mit Granitschuttüberlagerung und -Durchdringung in submontaner Lage günstig ab: der höhere Anteil an Glimmer, insbesondere an Biotit, an zersetztem Feldspat und an Plagioklas sowie an hochlichtbrechenden Mineralien, bei denen eine grüne Hornblende hervortritt, haben einen höheren Nährstoffgehalt (vgl. Spalte Gesamtlösliches und die einzelnen Nährstoffe) und im humosen A₁ einen recht hohen S-Wert bei nur schwachen Säuregraden, wie sie einen günstigen Waldbodenzustand kennzeichnen, im Gefolge. Daraus resultiert in Verbindung mit den klimatischen, aus der Höhenlage von 550 m sich ergebenden Besonderheiten und aus

¹⁾ Wie aus zahlreichen anderen Standortuntersuchungen dieses Typs nachzuweisen ist.

²⁾ Vgl. Hartmann, Die Bedeutung der Pflanzensoziologie für den Standort. Jb. d. Deutschen Forstvereins 1936, J. Neumann, Neudamm.

der frischen nachschaffenden Unterhanglage ein anspruchsvoller gutwüchsiger Buchenmischwald mit zahlreichen Edellaubhölzern vom soziologischen Typ des *Acereto-Fagetums* in einer *Impatiens-Urticareichen* Variante, wie sie durch den frisch- und mildhumosen, nährstoffreichen Oberboden die ihr zusagenden ökologischen Bedingungen findet.

Beispiel 4 führt die Reihe von Lössen auf Silikatgesteinsunterlagen fort zur Reihe der Lössen auf basischer Gesteins-, speziell Basaltunterlage und untersucht den Einfluß dieses jüngeren eruptiven Verwitterungsmaterials auf die Zusammensetzung des aufgelagerten bzw. verlagerten Lösses oder Staublehms.

Im Beispiel 6 wird schließlich die Lößbeimengung so schwach, daß der „Staublehm“-A₃ dieses Profil gegenüber den Lößprofilen 1—5 eine Sonderstellung einnimmt, die durch die hohen Verwitterungsanteile aus dem Basalt gekennzeichnet ist.

4. Das mitteltiefgründige Lößprofil über Basalt am Westberg (Beispiel 4) zeichnet sich durch den starken Einfluß des Lösses in beiden untersuchten Horizonten A₃ und C₁ von dem folgenden Profil des Schöneberges ab, wo die Unterschiede zwischen beiden Horizonten hinsichtlich ihrer Herkunft schärfer sind. Bei Profil 4 läßt jedoch die chemische Bodenanalyse des C₁ in Ergänzung der mineralischen Analyse aus den hohen bzw. Höchstwerten an Nährstoffen den Schluß zu, daß trotz der Ähnlichkeit der Korngrößenzusammensetzung zwischen A₃ und C₁, die zunächst auf stärkere Lößbeimengung auch im C₁ schließen läßt, der Verwitterungsanteil aus Basalt (mutmaßlich aus Basalttuff) sehr hoch und entscheidend für die gesamte Wuchsleistung und Vegetationszusammensetzung der hier ausgebildeten anspruchsvollen *Elymus*-Variante des *Querceto-Carpinetum asperuletosum* (E. 1939) ist. Gegenüber dem Oberboden des Hangbodenlößprofils auf Granit (Beispiel 3), das in der unteren Buchenwaldstufe des Thüringer Waldes eine ähnliche günstige, wenn auch etwas feuchtere Waldgesellschaft zur Ausbildung bringt, ist der 60—70 cm mächtige Löß-Oberboden (A₁ und A₃) des Westbergprofils zwar durch tieferliegende S-Werte bei höherer relativer Sättigung infolge Auswirkung des basenreichen Basaltuntergrundes und durch niedrigere Nährstoffanteile unterschieden. Der wurzelerreichbare, überaus basen- und nährstoffreiche, neutral reagierende lehmig-lettige und schluffreiche Basalt (Tuff)-Verwitterungshorizont in bereits 1 m Tiefe wirkt sich in der Hanglage (ONO) aber so ausgleichend günstig aus, daß trotzdem beste Wuchseffekte innerhalb einer anspruchsvollen Waldgesellschaft erreicht werden.

5. Ein typischer Durchschnittslöß, mineralisch und bodenchemisch nicht reich, sauer, mäßig gesättigt, ohne zusätzliche mineralische Versorgung infolge nur wenig geneigter Lage nahe der Kuppe des Schöneberges (Beispiel 5), lagert auf einem äußerst nährstoffreichen, gesättigten, schluffigen Basaltverwitterungslehm (Gesamtlösliches 48 %!) mit Anteilen an Olivin, Augit, basischem Plagioklas und einem charakteristischen Silikat-Gel bei geringem Quarzanteil und durchschnittlichem Feldspat- und Glimmergehalt. Waldgesellschaft und Bestandesleistung entsprechen daher den günstigen Verhältnissen des Beispiels 4 vom Westberg (s. d.). Die beim Beispiel 5 etwas ungünstigere Lößauflage wird hier durch den flacher (schon bei 50 cm) liegenden, sehr nährstoffreichen Basaltverwitterungsboden in der Gesamtwirkung ausgeglichen.

6. Ein durchgehendes Basaltprofil am Deiselberg (Beispiel 6) mit nur schwacher Lößbeimengung im A₃ (vgl. Korngrößenfraktion 200—20 μ bei I. Ku-bach verrät schon im A₃, verstärkt im C₁, seine basische, eruptive Herkunft als Basaltart durch seinen auffallend niedrigen Quarzgehalt, durch die reichlich auftretenden basischen Plagioklase, seinen Anteil an Olivin und Augit,

das häufig vorkommende Gel und die vielen Gesteinsreste mit entsprechend hochliegenden bodenchemischen Werten.

Der hohe Nährstoff- und Basenreichtum des zwar flachgründigen basischen Gesteins haben gleichfalls die anspruchsvolle Elymus-Variante des *Querceto-Carpinetum asperuletosum* mit besonders hohem Anteil an *Mercurialis perennis* und mit *Arum maculatum* im Gefolge, wobei die notwendige Bodenfrische durch das flach anstehende Gestein, dessen geringe Verwitterungsspalten mit tuffartigem, mehligem Verwitterungsmaterial ausgefüllt sind, erreicht wird. Die Flachgründigkeit dieses Standortes nahe der Deiselbergkuppe vermag trotz bester Nährstoff- und Basenverhältnisse beim Baumwuchs nicht mehr als eine mittlere (III.) Buchenertragsklasse zu bewirken. Innerhalb des gleichen Typs verbessert sich die Ertragsklasse jedoch schon wenige Schichtlinien tiefer am gleichen Hang bei zunehmender Tiefgründigkeit des Verwitterungsbodens oder bei ausreichender, wenn auch flacher Lößauflage auf dem gleichen nachschaffenden, basischen Eruptivgestein.

Emsland, ein neuer Eisenmeteorit.

Von

R. Vogel.

Mit 18 Abbildungen auf 4 Tafeln.

Im Sommer 1940 erfuhr der Verfasser durch seinen Mitarbeiter, Herrn Dr. F. Hillen, daß in seiner Heimatgegend, im unteren Emsland, bei staatlichen Moorarbeiten ein Eisenmeteorit gefunden sei. Durch Vermittlung des Genannten, welcher den Leiter jener Arbeiten, Herrn Oberbaurat Sagmüller persönlich kannte, wurde der Meteorit dem Verfasser zum Zwecke seiner Beschreibung zur Verfügung gestellt. Hierfür spricht der Verfasser Herrn Dr. F. Hillen sowie Herrn Oberbaurat Sagmüller auch an dieser Stelle seinen verbindlichsten Dank aus.

Der Meteorit wurde gefunden in der Nähe der an der Ems gelegenen Ortschaft Brahe auf deren geographischen Breite und 500 m von der holländischen Grenze. Da diese hier ziemlich genau nord-südlich verläuft, so ergibt sich die Fundstelle zu 53° 6' nördl. Breite und 7° 12' östl. Länge.

Zur Bezeichnung des neuen Meteoriten erscheint der Name Emsland zweckmäßig, der wohl eher als der Name des Dorfes Brahe geeignet ist, eine Vorstellung von der Fundgegend zu vermitteln.

Über den Fall des Meteoriten war von der Bevölkerung aus der unmittelbaren Umgebung der Fundstätte nichts in Erfahrung zu bringen. Zeitungsaufrufe und darauffolgende Mitteilungen zahlreicher Personen, unter denen der Verfasser besonders Frl. H. Focken in Emden für eifrige Mitarbeit zu danken hat, sowie Fühlungnahme mit verschiedenen naturforschenden Gesellschaften führten schließlich zu dem gesicherten Ergebnis, daß im Gebiet der unteren Ems, der ostfriesischen Küste und im Oldenburgischen innerhalb der letzten Jahrzehnte zweimal der Niedergang eines bedeutenden Meteors beobachtet worden ist, bei dem es sich vielleicht um den vorliegenden handeln könnte. Beide Erscheinungen sind von vielen Personen gesehen und in den Tageszeitungen beschrieben worden.

Der eine Meteor wurde am 17. Dezember 1905 gegen Abend beobachtet. Nach einer Beschreibung des Herrn Pastor Harms auf Langeoog erschien am halbbedeckten Himmel im Süden plötzlich ein weißleuchtender Streifen, welcher sich schnell in westlicher Richtung bewegte und der Erde zuneigte. Die Bahn des Meteors leuchtete noch 10—15 Minuten nach. Es wurde vermutet, daß der Meteor in den Hochmooren Oldenburgs oder der unteren Ems niedergegangen sei. In diesen Gegenden wurde auch danach gesucht, aber ohne Erfolg.

Der zweite Meteorfall ereignete sich im Sommer 1900 oder 1901 mittags um 13⁴⁰ Uhr. In Westrhauderfehn, Kreis Leer, bemerkte Herr Pieter Janssen, welcher davon die klarste Schilderung gibt, plötzlich am bedeckten Himmel eine Rauchwolke. Aus dieser fiel eine große Feuerkugel, deren Licht das Auge blendete, eine lange gelbliche Rauchfahne hinter sich lassend, zur Erde. Auch wurde ein schwerer donnerartiger Knall vernommen. Hier dürfte es gewiß sein, daß die meteorische Masse auch wirklich in kompakter Form zur Erde gelangte und die gelbe Farbe des Rauches (Eisenoxyd), sowie das Nichtzerplatzen der Masse machen einen Eisenmeteoriten wahrscheinlich.

Ob es sich bei einem dieser Fälle um unseren vorliegenden Meteoriten handelt, muß leider zweifelhaft bleiben, da die Angaben für eine Berechnung des Niedergangsortes nicht hinreichen.

Das Eisen fand sich im Hochmoor in einer Tiefe von über 2 m, eingebettet, in eine Schicht von Sand. Dieser war in der unmittelbaren Umgebung des Meteoriten einige Zentimeter weit blaugrau gefärbt und haftete der Eisenmasse nur lose an, so daß er leicht mit einem Lappen, ohne dabei die Oberfläche zu verletzen, entfernt werden konnte.

Das Gewicht des Meteoriten betrug 19 kg, durch Abtrennung der zur Untersuchung nötigen Proben ist das Gewicht auf 18½ kg reduziert.

Abb. 1 zeigt den Meteoriten von seiner Breitseite nach einer Aufnahme des Herrn Dr. Hillen. Die unten sichtbare Zentimetereinteilung gibt von seiner Größe eine Vorstellung. Der Block hat die für Meteoriten gewöhnliche unregelmäßige Form, welche auch im vorliegenden Fall an ein Bruchstück von einer größeren Masse denken läßt. Die Oberfläche zeigt, besonders zahlreich auf der in Abb. 1 dem Beschauer zugekehrten Seite die charakteristischen Erosionsvertiefungen. Diese fehlen jedoch auf der in Abb. 2 wiedergegebenen Fläche.

Man pflegt die Erosionsvertiefungen als die Folge von Luftwirbeln während des Falles anzusehen, zu deren Bildung wohl ursprünglich vorhandene Unregelmäßigkeiten der Oberfläche Anlaß gaben und welche an diesen Stellen ein besonders intensives Schmelzen und Abschleudern der flüssigen Masse bewirkten. Man hat aber auch an das Ausschmelzen leicht schmelzbarer Bestandteile gedacht. Als solche kommen in den Eisenmeteoriten vor allem in Betracht Troilit und

Schreibersit. Der erstere beginnt in Berührung mit einem dem Kamazit entsprechenden Mischkristall des Eisens mit 5 % Nickel eutektisch zu schmelzen bei 950° und der letztere in Berührung mit einem ternären Mischkristall mit 5 % Ni und 2 % P bei 1000° , während der Kamazitmischkristall für sich allein erst bei rund 1450° zu schmelzen beginnt. Ein Zusammenhang zwischen Erosionsvertiefungen und Troilit- bzw. Schreibersiteinschlüssen läßt sich jedoch an dem Eisenmeteoriten nicht konstatieren, vielmehr treten die Vertiefungen davon ganz unabhängig und auch an solchen Eisen auf, in denen jene Gefügebestandteile fehlen.

Außerdem zeigt das Emslandeisen an seiner Oberfläche noch verschiedene interessante Besonderheiten. Im Gegensatz zu vielen anderen Meteoriten fehlt der Oberfläche die sonst durch Oxydation bzw. Verwitterung erzeugte Narbung, die Oberfläche ist vielmehr auffallend glatt und nur in den Vertiefungen von einer lose haftenden ca. 1 mm dicken schwärzlichen Schicht bedeckt, während an allen hervorragenden Stellen, sowie auch auf den ebenen Flächenteilen das blanke Nickeleisen und vielfach das oktaedrische Lamellengefüge der Widmannstättenschen Figuren als Relief zutage tritt. Man erkennt dasselbe deutlich in Abb. 2, wo die untere Fläche in Abb. 1 nach oben gekehrt und die in Abb. 1 rechte Seite dem Beschauer zugewandt ist. Links fehlt das Lamellenrelief größtenteils. Da diese Fläche, wie aus den Schnittwinkeln der Lamellen von etwa 60° zu schließen ist, ungefähr einer Oktaederfläche parallel läuft, so könnte das Fehlen sich kreuzender Lamellen dadurch erklärt werden, daß hier die Oberfläche durch eine ihr parallel gerichtete Lamelle gebildet wird.

An verschiedenen blanken Stellen zeigt sich das Nickeleisen deutlich geflossen. In Abb. 2 sieht man solche Stellen rechts am oberen Rand der dem Beschauer zugekehrten Fläche. Die Fließrichtung weist bei der Blocklage von Abb. 2 immer nach unten. Es handelt sich offenbar um eine Oberflächenschicht, welche durch die Erhitzung des Meteoriten bei seinem Fluge durch die Atmosphäre flüssig geworden war. Man kann sich vorstellen, daß beim Sturz des Meteoriten in das Moor Teile der flüssig gewordenen Oberflächenschicht abgestreift wurden, während die noch haftende Schmelze im Zustand des Fließens durch Abschreckwirkung rasch erstarrte. Durch die Bildung einer schützenden bzw. reduzierenden Dampfhülle aus der wäßrigen, kohlehaltigen Moorsubstanz erklärt sich dann zugleich, daß die durch Abstreifen der Schmelze freigelegte blanke Oberfläche gegen Oxydation geschützt blieb. Da aber die Erhitzung eines Meteoriten wesentlich nur durch die Abbremsung seiner kosmischen Geschwindigkeit vom Eintritt in die Erdatmosphäre bis zum Hemmungspunkt stattfindet, so bleibt es andererseits fraglich, ob sich die hohe Temperatur des schmelzflüssigen Zustandes (rund 1500°) noch bis zum

Einschlag in das Moor hat erhalten können. War das nicht der Fall, sondern erfolgte die Abstreifung und Erstarrung der Schmelze noch in der Atmosphäre, so müßte man die Bildung einer Brandrinde erwarten, welche sich nachträglich durch Einwirkung der Moorsubstanzen (Humussäuren) wieder gelöst haben müßte.

Eine weitere Eigentümlichkeit der Oberfläche sind zwei kleinere kreisrunde Vertiefungen von 8 und 6 mm Durchmesser auf gegenüberliegenden Seiten des Blockes, deren Grund einen orientierten Schimmer zeigt. Spröde, glänzende Körnchen dieser Substanz, welche in diesen Vertiefungen losgebrochen werden konnten, zeigten sich schwach magnetisch, schmolzen im Gebläse zu schwärzlichen Kügelchen, gaben mit verd. HCl Schwefelwasserstoff und in Königswasser gelöst mit BaCl eine reichliche Fällung von BaSO₄, außerdem mit Magnesia-mischung schwache Phosphorreaktion. Danach dürfte es sich um einen Zylinder aus Troilit handeln, welcher letzterer häufig mit Schreiberit verwachsen ist. Eine zylindrische Ausbildungsform des Troilit vermutet E. Cohen auch bei den Eisen von Canon Diablo, Kokstad, Joe Wright und Penkarring Rock (Meteoritenkunde Heft II 171). In den Gefügeproben des Emslandeisens wurde sonst kein Schwefeleisen gefunden.

Chemische Eigenschaften.

Für eine ausführliche Analyse des Meteoriten hat der Verfasser Herrn Prof. E. H. Schultz, Direktor des Instituts für Kohleforschung in Dortmund zu danken. Danach ist der Meteorit chemisch wie folgt zusammengesetzt:

90,10 % Eisen	0,05 % Kohlenstoff
8,71 % Nickel	0,012 % Chrom
0,78 % Kobalt	0,006 % Silizium
0,265 % Phosphor	0,000 % Mangan
0,007 % Schwefel	0,016 % Magnesium.

Zunächst wurde eine spektralanalytische Untersuchung des Stückes an verschiedenen Stellen vorgenommen. Dabei ergab sich, daß außer den angegebenen Elementen noch Silizium, Kobalt und Magnesium sowie Mangan in Spuren vorhanden war.

Die Bestimmungsverfahren für die einzelnen Elemente sind im folgenden kurz angegeben:

Nickel (Einwaage: 0,5 g) wurde aus dem Filtrat der Siliziumbestimmung nach Zugabe von Dimethylglyoxim gefällt und gewichtsanalytisch ermittelt.

Phosphor (Einwaage: 1 g) wurde in salpetersaurer Lösung mit Ammonmolybdatlösung gefällt. Anschließend wurde der Niederschlag

mit einer abgemessenen Menge eingestellter Natronlauge gelöst und der Überschuß mit Schwefelsäure zurücktitriert.

Schwefel und Kohlenstoff (Einwaage: 1 g) wurden nach Verbrennung in der Apparatur von Holthaus-Seuthe maßanalytisch bzw. volumetrisch bestimmt.

Chrom (Einwaage: 3 g) wurde in Schwefel-Phosphorsäure gelöst und nach Überführung in Chromat mit Ferrosulfatlösung potentiometrisch bestimmt.

Silizium (Einwaage: 5 g) wurde als Rückstand der salzsauren Lösung in der bekannten Weise ermittelt.

Bei der Manganbestimmung (Einwaage: 2 g) wurde das Filtrat der Zinkoxydfällung ammoniakalisch gemacht und nach Zusatz von Ammonpersulfat gekocht, wobei sich jedoch kein Niederschlag bildete.

Kobalt (Einwaage: 2 g) wurde aus der durch Zinkoxyd von Eisen befreiten Lösung bei Gegenwart von Salzsäure mit Nitrosonaphtol gefällt und gewichtsanalytisch bestimmt.

Magnesium (Einwaage: 2 g) wurde in ammoniakalischer Lösung als Phosphat niederschlagen, nachdem die störenden Elemente entfernt worden waren.

Eisen (Einwaage: 0,5 g) wurde nicht als Differenz ermittelt, sondern nach Abtrennung von den störenden Elementen (Nickel und Kobalt) maßanalytisch bestimmt.

Die Analysen wurden doppelt ausgeführt.

Bei einer vom Verfasser vorgenommenen Prüfung des chemischen Verhaltens erwies sich eine für die mikroskopische Untersuchung hergestellte hochpolierte Schliffprobe auffallend resistent. Sowohl verdünnte als auch konzentrierte Salzsäure und Salpetersäure blieben ohne Wirkung und aus einer neutralen Lösung von Kupfersulfat wurde kein Kupfer gefällt. Das Meteoreisen schien also zur Gruppe der passiven zu gehören. Nachdem aber alkoholische Pikrinsäure erst einmal eine Ätzung bewirkt hatte, war die Resistenz auch gegen die oben genannten Agenzien verschwunden. Sie konnte auch nach mehrmaligem völligen Abpolieren der Ätzung und selbst nach gründlichem Abschleifen der Probe unmittelbar nach Fertigstellung des Schliffes nicht wieder beobachtet werden. Vielmehr zeigte das Eisen jetzt das normale Verhalten einer künstlichen Nickeleisenlegierung mit gleichem Ni-Gehalt: Die Probe wurde schon von kalter verd. HCl und HNO_3 unter Gasentwicklung gelöst, fällte Kupfer aus neutraler Kupfersulfatlösung und wurde erst durch Eintauchen in konz. HNO_3 nach momentaner Gasentwicklung passiv.

Wiederholt sind Meteoreisen von einem Beobachter als passiv, von einem anderen als aktiv erklärt worden. Nach E. Cohen (Meteoritenkunde, Heft III, 515) verhalten sich einige Meteoreisen, welche er als

„intermediäre“ bezeichnet, zunächst passiv, werden aber nach kürzerer oder längerer Berührung mit der Lösung aktiv. Wöhler hat die Vermutung geäußert, daß alles meteorische Eisen ursprünglich passiv sei und erst durch längere Berührung mit den Atmosphärien aktiv werde.

Struktur.

Nach seiner Struktur gehört das Meteoreisen zur Gruppe der Oktaedriten, es zeigt die Widmannstättenschen Figuren in besonders schöner, klarer Ausbildung, und ist zufolge einer mittleren Lamellenbreite von 1 mm zur speziellen Gruppe der Oktaedriten „mittlerer Lamellenbreite“ (E. Cohen, Meteoritenkunde, Heft III, 515) zu rechnen. Das Fehlen aller Kennzeichen der Wiedererhitzung¹⁾: Körnung, Zwillingsbildung und Umwandlungsfiguren im Kamazit, geschmolzener oder in der Auflösung befindlicher Schreibersit oder Rhabdit, verwaschenes Balkengefüge beweist, daß das Emslandeisen noch seine ursprüngliche Struktur besitzt und daß es nach einmal erfolgter Ausbildung der Widmannstättenschen Struktur, abgesehen von der kurzen auf eine dünne Oberflächenschicht beschränkt gebliebene Erhitzung beim Fluge durch die Atmosphäre, die zur Ausbildung der Brandzone mit entsprechender Gefügeumwandlung führte, als Ganzes keiner nennenswerten Temperaturerhöhung, weder im Weltraum noch auf der Erde, ausgesetzt gewesen ist. Das vielfache Hervortreten des Lamellengefüges an der Blockoberfläche (vgl. Abb. 2) ermöglicht auch ohne mehrfache Probeentnahme die Feststellung, daß der Block, der Regel entsprechend aus einem einzigen Kristallindividuum besteht.

Auf polierter Schlißfläche ist das Gefüge schon ohne Ätzung mit dem bloßen Auge und unter dem Mikroskop in allen Einzelheiten sichtbar. Abb. 3 zeigt die Widmannstättensche Struktur des Emslandeisens nach kräftiger Sapletersäureätzung bei schrägem Lichteinfall in 1½facher Vergrößerung. Zum mikroskopischen Studium der feineren Gefügeeinheiten wurde als mildes Ätzmittel meist alkoholische Pikrinsäure angewandt. Mit dieser Ätzung, bei senkrechtem Lichteinfall und 6 × Vergrößerung stellt sich das Gefüge wie in Abb. 4 dar. In diesem Bilde, welches das Balken- und Plessitgefüge nebst Schreibersiteinlagerungen in den Balken deutlich erkennen läßt, bemerkt man links als Besonderheit drei orientierte Schreibersiteinlagerungen, welche hier, in der Nähe der Blockoberfläche, von dunklen ebenfalls orientierten Spalten durchquert werden. Mehr in der Bildmitte finden sich

¹⁾ R. Vogel (I), „Über die Strukturformen des Meteoreisens und ihre spezielle Beeinflussung durch Umwandlung nach beigemengtem Phosphor“. Abhandlungen der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen Math.-phys. Klasse N. F., Bd. XII, 2, 1927.

Rhabdite, welche als feine dunkle Linien erscheinen und dieselbe Richtung wie die Spalten haben. Die Vermutung liegt nahe, daß die Spalten beim Einschlag des Blockes entstanden sind, indem ebenso orientierte Rhabdite durch ihre Sprödigkeit an diesen Stellen eine Materialschwächung bewirkten. Wenn die Schlifffläche annähernd einer Rhombendodekaederfläche entspricht, so verlaufen die Spalten und die Rhabdite parallel einer Würfel­fläche, was mit der hexaedrischen Spaltbarkeit des Kamazit und der von G. Rose¹⁾ nachgewiesenen Orientierung der Rhabditnadeln parallel den Hexaederflächen übereinstimmt.

Das Emslandeisen ist reich an Phosphornickeleisen, das sowohl in Form von Schreibersit als auch Rhabdit auftritt. Der Schreibersit herrscht vor und findet sich als ziemlich regelmäßige Einlagerungen im Kamazit, wie aus Abb. 4 zu entnehmen ist. Infolge ihrer Sprödigkeit sind sie beim Schleifen an vielen Stellen ausgebrochen. Daß es sich nur um Schreibersit und nicht etwa um den als Gefügebestandteil ähnlichen Cohenit handeln kann, folgt aus dem relativ hohen Gehalt des Eisens an Phosphor (0,26 %) und dem sehr geringen an Kohlenstoff (0,05 %), außerdem bestätigt es die tiefe Schwarzfärbung dieses Gefügebestandteils nach ½stündigem Kochen einer Schliffprobe mit konz. Natriumpikratlösung, welche den Cohenit unter gleichen Bedingungen rot gefärbt, die übrigen Gefügebestandteile aber nicht angreift und damit ein einfaches Mittel zur Identifizierung der phosphorhaltigen Gefügebestandteile Rhabdit und Schreibersit bildet²⁾. Die Wirkung dieser Ätzung zeigen Abb. 12—15 und 18. Mit den hier dunkel gefärbten phosphidischen Gefügebestandteilen dürfen nicht die ebenfalls dunkel erscheinenden Lücken verwechselt werden, die in Abb. 3 und 4 vielfach durch Ausbrechen der Schreibersitkristalle entstanden sind.

Der den Kamazit normalerweise umhüllende Taenit, welcher bei manchen Eisen wie Jewell Hill³⁾, Carlton, Bridgewater bei gleicher Vergrößerung nach dem Ätzen der Probe sehr deutlich in Form glänzender Säume hervortritt, ist hier ähnlich wie in Bear Creek, Damara, Goamus auffallend schwach entwickelt (in Abb. 4 überhaupt nicht zu erkennen) und wird erst bei stärkeren Vergrößerungen an den Rändern der Plessitfelder (vgl. Abb. 5, 6, 7) bemerkbar.

¹⁾ G. Rose, Über den Asterismus der Kristalle, insbesondere des Glimmers und des Meteoreisens. Berichte der preuß. Akad. d. Wissenschaften Berlin 1862/616; Über das Meteoreisen von Santa Rosa, Pogg. Ann. 1863, CXVIII, 634.

²⁾ R. Vogel, II, Eine umfassendere Deutung der Gefügeerscheinungen des Meteoreisens durch das Zustandsdiagramm des ternären Systems Eisen-Nickel-Phosphor, Abhandlungen d. Gesellsch. d. Wissenschaften zu Göttingen, Math.-phys. Klasse III, Folge, Heft 6, 1932.

³⁾ Vgl. R. Vogel (I).

Der Plessit tritt in der Hauptsache als „normaler“ auf, welcher charakterisiert ist durch feinere Kamazitstäbchen, die den primären Balken parallel orientiert (vgl. Abb. 4 rechts) und durch schmale Taenitsäume getrennt sind. Abb. 5 zeigt den oberen Rand eines Feldes mit normalem Plessit bei 110facher Vergrößerung.

Dunkler Plessit, gekennzeichnet durch ein mikroskopisch feines, beim Ätzen schnell strukturlos dunkel werdendes Gefüge, das Ergebnis der Entmischung eines ternären γ -Mischkristalles¹⁾, findet sich in geringerer Menge an den Rändern und in den Ecken der großen Plessitfelder. Aus dunklem Plessit bestehen auch vorwiegend die kleinen Felder, vgl. Abb. 4, welche wohl meist als angeschnittene größere Plessiträume aufzufassen sind. Abb. 10 und 11 zeigen kleine Felder mit dunklem Plessit und Abb. 6 den Übergang vom normalen zum dunklen Plessit an der Ecke eines Feldes. Eine Zwischenform ist in Abb. 7 bei stärkerer (190 \times) Vergrößerung wiedergegeben. Dieselbe ist charakterisiert, durch ihren großen Gehalt an der in eine helle Kamazitgrundmasse eingebetteten γ -Phase (Taenit), deren größere Inseln die Entmischung des dunklen Plessit zeigen. Nach dem Rande des Plessitfeldes hin drängen diese Inseln sich zusammen, so daß der Kamazit zwischen ihnen verschwindet, und ihre hellen Säume vereinigen sich schließlich zu einem breiteren, einheitlichen Taenitband.

Neumannsche Linien treten entsprechend der verhältnismäßig geringen mechanischen Beanspruchung des Blockes bei seinem Sturz in das weiche Moor, im allgemeinen wenig auf, dichtere Scharen finden sich nur stellenweise in der Nähe der Oberfläche des Blockes. Abb. 8 zeigt einige Neumannsche Linien nach Salpetersäureätzung der Probe. Die länglichen Gebilde sind Rhabdite, die kleineren Vierecke Ätzfiguren.

Ätzt man eine Probe kräftiger bis zum Mattwerden der Schliffebene durch 10—20 Sekunden lange Einwirkung einer Mischung von 2 Teilen Alkohol und 1 Teil HNO_3 , so bemerkt man wie in Abb. 3, daß einzelne Kamazitbalken derselben Richtung das Licht verschieden reflektieren. Unter dem Mikroskop zeigen die betreffenden Balken andere bzw. anders gerichtete Ätzfiguren als die Nachbarn und die Neumannschen Linien überschreiten nicht die Balkengrenze, sondern endigen hier bzw. verlaufen auf dem Nachbarbalken in anderen Richtungen. Die Balken sind also kristallographisch verschieden orientiert und befinden sich wahrscheinlich in Zwillingsstellung²⁾.

¹⁾ Vgl. R. Vogel (I).

²⁾ G. Linck, Über das Kristallgefüge des Meteoreisens Amm. D. KK. Naturhistor. Hofmuseum Wien 1893, VIII, 113—117, siehe auch E. Cohen, Meteoritenkunde Heft I, S. 92.

Außerdem zeigt das kräftig geätzte Emslandeisen einen schönen orientierten Schimmer, welcher, wie die mikroskopische Prüfung der schimmernden Stellen ergab, mehrfach durch Scharen Neumannsche Linien hervorgerufen wird. Bei den oktaedrischen Eisen kann aber noch eine weitere Ursache dazukommen. So ist im Fall des Emslandeisens der orientierte Schimmer auf den Plessitfeldern besonders ausgeprägt. Er wird hier durch die parallelgelagerten Taenitleisten erzeugt. Einzelne Plessitfelder mit besonders auffallendem Schimmer erwiesen sich außerdem noch durchsetzt von Neumannschen Linien, so daß hier beide Wirkungen sich verstärken. In Abb. 9 ist ein Ausschnitt aus einem solchen Plessitfeld wiedergegeben. Die hellen Rippen sind Taenit, die dunklen Streifen Neumannsche Linien. Das Auftreten Neumannscher Linien im Plessit ist im Hinblick auf ihre Deutung als Deformationszwillinge merkwürdig, denn man könnte erwarten, daß die Zwillingsbildung im Kamazit durch die zwischengelagerten Taenitlamellen verhindert würde. Daß Neumannsche Linien auf einem Balken zahlreich, auf einem andersorientierten Nachbarbalken selten oder gar nicht auftreten, während sie andererseits sogar im Plessit reichlich vorkommen können, weist daraufhin, daß es für ihre Entstehung hauptsächlich auf eine günstige Orientierung des Kamazit zur Richtung der deformierenden Kraft ankommt, wobei Hindernisse wie der Taenit eine untergeordnete Rolle spielen.

Eine den Neumannschen Linien ähnliche Erscheinung, das Auftreten von Scharen dunkler kristallographisch orientierter Linien ist an künstlichen Legierungen, welche aus Mischkristallen bestehen, schon vor längerer Zeit vom Verfasser¹⁾ beobachtet und nach Analogie der Neumannschen Linien ebenfalls als Zwillinge gedeutet worden. Wassermann²⁾ beschreibt noch eine andere Art von Linien. Diese beruhen auf Ausscheidungen, welche sich auf bevorzugten Netzebenen in sehr feiner Form gebildet haben, wodurch diese Netzebenenschnitte in der Schliffebene die Orte bevorzugter Ätzwirkung werden. Bei diesen Linien handelt es sich also immer um Ätزرillen.

Auch in manchen Oktaedriten³⁾ zeigt der Kamazit eine eigentümliche Schraffierung, welche schon Reichenbach beschrieben hat und die nicht durch Neumannsche Linien hervorgerufen wird. Da sich beim Erhitzen eines Oktaedriten in das Temperaturintervall der α - γ -Umwandlung der Eisen-Nickelmischkristalle bzw. in deren γ -Feld im Kamazit ein γ -Mischkristall (Taenit) ausscheiden muß, so wäre es

¹⁾ Über Zwillingsbildung in der Oberflächenschichten von Metallen infolge Kaltbearbeitung. Z. anorg. Chem. Bd. 117, 271, 1921.

²⁾ Zeitschr. f. Metallkunde 1938, S. 62 und 1940, S. 415.

³⁾ Vgl. z. B. St. H. Perry, The Seneca Township Meteorite, Popular Astronomy Vol. XLVII, 4. April 1939.

möglich, daß es sich hierbei um die Wassermannschen Ätzlinien handelt. Die Schraffierungslinien würden dann den ersten, noch submikroskopischen Beginn der Ausscheidung darstellen, welche beim Fortschreiten der Entmischung als Umwandlungsfiguren¹⁾ in Erscheinung tritt. Die Schraffierung würde dann als ein Zeichen von Wiedererhitzung anzusehen sein.

Von einer weiteren Eigentümlichkeit des Kamazits der Oktaedriten, die auch am vorliegenden Eisen deutlich ausgebildet ist, den Zerklüftungslinien, gibt Abb. 10 ein Beispiel. Dieselben entsprechen den Stellen, an denen verschiedene Kamazitbalken sich treffen. Die Ähnlichkeit mit den Korngrenzzlinien eines aus der Schmelze entstandenen Kristallitengefüges ist frappant und die kleine Schreiber-sitausscheidung rechts der Bildmitte, wo drei Kristallite sich treffen, erweckt durchaus den Eindruck eines Gefügebestandteiles, welcher sich zum Schluß der Kristallisation aus einer Restschmelze gebildet hat. Auch die auffallend starke Abrundung der Kamazitbalken könnte man als einen Hinweis auf ihre Bildung aus der Schmelze ansehen.

Die folgenden Abb. 11—15 sowie 17 und 18 zeigen die verschiedenen Erscheinungsformen von Eisennickelphosphid. Feine Rhabditnadeln in drei aufeinander senkrechten Richtungen sind in Abb. 11 wiedergegeben. Die Schliffebene dieser Probe muß also zufolge der hexaedrischen Orientierung der Rhabditnadeln, eine Würffelfläche sein. Damit stimmt überein, daß die oktaedrisch orientierten Kamazitbalken, innerhalb deren der Rhabdit sich ausgeschieden hat und deren Richtung in Abb. 11 durch ein fast horizontal verlaufendes Taenitband erkennbar wird, mit den Rhabditnadeln einen Winkel von 45^0 bilden.

Das Gefügebild 11 ist durch Ätzung mit alkoholischer Pikrinsäure entwickelt. Bei dieser und anderer Säureätzung können aber so feine Rhabditnadeln, wie sie im Emslandeisen vorkommen, leicht mit Neumannschen Linien verwechselt werden, wie es bei früheren Meteoritenbeschreibungen auch öfters vorgekommen zu sein scheint²⁾. Zur sicheren Unterscheidung von Rhabditen und Neumannschen Linien sowie zur Identifizierung von Einlagerungen, die an ihrer Form nicht ohne weiteres als Rhabdit oder Schreibersit kenntlich sind, dient die schon erwähnte Natriumpikratätzung, welche bei den Gefügebildern 12—15 und 18 angewandt wurde.

Abb. 12 zeigt nach diesem Verfahren tief schwarz gefärbte Rhabdite. Zwei sehr feine Nadeln oben und unten, welche man nach der üblichen Säureätzung von Neumannschen Linien nicht unterscheiden könnte, sind hier, da die Natriumpikratätzung die Neumannschen Linien überhaupt nicht zum Vorschein bringt, als Rhabdit identifiziert.

¹⁾ R. Vogel, Abhandl. II, S. 14.

²⁾ Cohen, Meteoritenkunde.

In Abb. 13 ist ein Schreibersitkristall wiedergegeben, dessen Form an ein aus der Schmelze entstandenes Kristallskelett denken läßt. Dazu sei jedoch bemerkt, daß der durchschnittliche Phosphorgehalt des meteorischen Eisens, wie das Zustandsdiagramm des Systems Fe-Ni-P lehrt, für eine Abscheidung von Schreibersit aus der Schmelze viel zu gering ist und daß, um eine solche zu erklären, in der ursprünglichen meteorischen Schmelze lokalisierte Erhöhungen des Phosphorgehaltes von mindestens 2 % vorhanden gewesen sein müßten. Für eine nicht ausgeglichene Zusammensetzung der ursprünglichen meteorischen Schmelze sprechen in der Tat verschiedene Umstände, wie das vielfach sehr sporadische Auftreten größerer Schreibersit- und Troilitmassen, deren häufige Vergesellschaftung, sowie auch das oft lokalisierte, schwarmartige Auftreten der Rhabditausscheidungen. In Abb. 14 sind verschiedene Einlagerungen an den Stellen, wo Kamazitlamellen sich begegnen, ebenso wie zahlreiche sehr feine punkt- oder kommaförmige Ausscheidungen, an denen der Kamazit des Emslandeisens reich ist, durch die Natriumpikratätzung als Eisennickelphosphid identifiziert. Diese feinen Ausscheidungen unterscheiden sich durch ihre Abrundung auffallend von den sonst nur als eckig bekannten Rhabditkriställchen.

Phosphidausscheidungen im Plessit, wo sie sich nach Natriumpikratätzung bei schwächerer Vergrößerung als dunkle Körnchen, und an den Rändern der Felder als dunklere Schattierungen bemerkbar machen, sind in Abb. 15 erkennbar. Während die Ausscheidungen am oberen Rande des Plessitfeldes, das Abb. 15 zeigt, sich dem Plessitgefüge deutlich einordnen und danach sekundär gebildet erscheinen, weist ihre zerstreute Lagerung weiter unten unabhängig vom Plessitgefüge darauf hin, daß sie vor diesem entstanden sind.

Die Abb. 16, 17, 18 geben Gefügeveränderungen aus der Brandzone wieder. Die Brandzone des Emslandeisens reicht durchschnittlich 1—2 mm, an hervorragenden Stellen auch 3 mm tief, und hebt sich nach leichtem Ätzen eines polierten Schliffes mit alkoholischer Salpetersäure von der im übrigen noch blanken Schlifffläche als mattes dem Außenrande folgendes Band deutlich ab. Die bekannte, durch die schnell vorübergehende Erhitzung des Meteoriten beim Durchgang durch die Atmosphäre hervorgerufene Körnung des Kamazit, welche die Brandzone im Gefüge kennzeichnet¹⁾, ist in Abb. 16 von links, wo der Außenrand der Probe zu denken ist, bis in die Mitte vorgedrungen. Darüber hinaus ist der Kamazit unverändert. Man bemerkt verschiedene Rhabditkriställchen, an deren obersten rechts eine Zerklüftungslinie vorbei läuft, außerdem verschiedene Neumannsche Linien, welche wie bekannt, in der Brandzone verschwinden.

¹⁾ Berwerth und Tammann, Sitzgsber. Wiener Akad., Jena 1911.

Die Frage, warum der veränderte Kamazit der Brandzone sich soviel schneller ätzt als der unveränderte außerhalb derselben, läßt sich dahin beantworten, daß der Kamazit in der Brandzone das Temperaturgebiet von 700—800° erreicht bzw. passiert hat, wo er sich als Mischkristall des α -Eisens mit 5—6% Nickel unter Bildung eines intermediären Entmischungsgefüges in den γ -Zustand umwandelt. Bei der kurzen Dauer der Erhitzung wird sich das Entmischungsgefüge nur in sehr feiner Form ausbilden können und, indem es bei der schnellen Wiederabkühlung erhalten bleibt, die Ursache des schnellen Säureangriffs in der Brandzone bilden. In der Tat läßt dieselbe in Abb. 16 stellenweise einen feinen lamellaren Zerfall erkennen.

Daß das genannte Temperaturgebiet erreicht und sogar noch weit überschritten worden ist, beweist das Vorkommen teilweise oder völlig geschmolzener Schreibersite im Bereich der Randzone (Abb. 17 u. 18). Aus dem Zustandsdiagramm des Systems Fe-Ni-P¹⁾ ist zu entnehmen, daß ein Schreibersitmischkristall in Berührung mit einem ternären Kamazit, dessen Ni-Gehalt 5—6% beträgt, bei rund 1000° eutektisch zu schmelzen beginnt. Diese Temperatur muß also bis zu 1 mm Entfernung von der Oberfläche, innerhalb derer eine Schmelzung von Schreibersit beobachtet wurde, mindestens geherrscht haben.

In Abb. 17 ist ein teilweise und in Abb. 18 ein vollständig geschmolzener Schreibersitkristall wiedergegeben, die untere Grenze des ersteren ist 1 mm, die des zweiten $\frac{1}{2}$ mm von der Oberfläche entfernt. Im ersten Fall war die Probe mit alkoholischer HNO₃ geätzt, der Schreibersitkristall erscheint daher in der dunkelgeätzten Umgebung der Brandzone hell und die graue Schmelzzone hebt sich von dem oberen hellen ungeschmolzenen Teil des Kristalles deutlich ab. Der Auflösungszustand an der Schmelzgrenze des Kristalles ist deutlich zu erkennen. Die Schmelzzone zeigt das zu erwartende Eutektikum aus Schreibersit- und einem gesättigten P-armen Fe-Ni-Mischkristall. Innerhalb des Eutektikums weisen die hellen kleinen primär ausgeschiedenen Skelette von Schreibersit auf phosphorreichere, die dunklen Primärausscheidungen des -Mischkristalls auf eisenreichere Stellen in der beim Fluge des Meteoriten durch die Atmosphäre entstandene Schmelze hin. Diese Stellen sind im ternären Zustandsdiagramm dieser- und jenseits der eutektischen Kurve²⁾ zu suchen.

Der in Abb. 18 wiedergegebene vollkommen geschmolzene Schreibersitkristall erscheint infolge Natriumpikratätzung dunkel innerhalb der Brandzone, welche hier nicht erkennbar ist, weil das genannte Ätzmittel nicht auf sie anspricht. Daß dieser Schreibersit vollkommen geschmolzen war, zeigt nicht nur seine einseitige Ab-

¹⁾ R. Vogel und Bauer, l. c., S. 271, Abb. 3.

²⁾ Kurve e' F Abb. 2, R. Vogel II.

rundung, sondern auch sein die ganze Masse umfassendes Auflösungsgefüge. Darin erscheint das feine Eutektikum bei schwacher Vergrößerung gleichmäßig dunkel, aber innerhalb desselben bemerkt man kleine helle Primärabscheidungen aus Eisennickel-Mischkristallen, welche durch Aufnahme von Phosphor die Sättigungsgrenze erreicht haben müssen, da sie mit dem Eutektikum in Berührung sind.

Es mag hier bemerkt werden, daß das Schmelzen von Schreibersit im meteorischen Eisen ein instabiler, nur bei schneller Erhitzung auftretender Vorgang ist. Ermöglicht man durch sehr langsames Erhitzen bzw. Glühen der Probe etwas unterhalb 1000° den stabilen Ablauf der Zustandsänderung, so erfolgt die Auflösung des Schreibersites ausschließlich im festen Zustand, weil das Eisennickelphosphid im Kamazit löslich ist und weil der durch Schreibersit und Rhabdit bedingte Phosphorgehalt des meteorischen Eisens von 0,2—0,3% bei 1000° noch im Konzentrationsbereich der ternären Mischkristalle liegt, deren Sättigungskonzentration bei 1000° im Gleichgewicht mit der eutektischen Schmelze 2% P beträgt. Würde man, wenn die eutektische Schmelzung eines Schreibersitkristalls infolge schneller Erhitzung eingetreten ist, die Probe längere Zeit bei dieser Temperatur halten, so müßte die Schmelze verschwinden, sobald die lokale Phosphoranreicherung an der Stelle des geschmolzenen Schreibersites durch fortschreitende Auflösung der Schreibersitmasse auf die Löslichkeitsgrenze von 2% P abgesunken ist, und der weitere Konzentrationsausgleich würde innerhalb des Löslichkeitsbereiches nur noch im festen Zustand zu Ende verlaufen. Sehr langsame Abkühlung der Probe führt dann, bei Laboratoriumsversuchen, zur Wiederausscheidung des Eisennickelphosphids in der feinen Form des Rhabdits¹⁾.

Troilit wurde in den untersuchten Gefügeproben nicht gefunden, was mit dem analytisch festgestellten sehr geringen S-Gehalt übereinstimmt. Da aber Troilit meist sporadisch auftritt, braucht er durch die Analyse nicht erfaßt zu werden, und ein negativer Analysenbefund schließt das Vorkommen von Troilit nicht aus. Der oben erwähnte Nachweis eines vereinzelt Troilitzylinders im vorliegenden Eisen ist hierfür ein Beispiel.

Im ganzen zeigt das Emslandeisen die bekannten Gefügeerscheinungen der Oktaedritenklasse mit unverändertem Gefüge. Die meisten dieser Gefügeerscheinungen sind heute erklärt, man kennt ihre Entstehungsbedingungen und kann sie künstlich nachbilden. Nur von dem augenfälligsten, am längsten bekannten Hauptphänomen des meteorischen Gefüges, der Widmannstättenschen Struktur gilt dies leider nicht. Ihre Nachbildung ist oft versucht und auch behauptet worden, daß sie gelungen sei. Eine Nachprüfung hat aber stets er-

¹⁾ II.

geben, daß es sich nur um ähnliche Gefügeformen handelte, denen wesentliche Eigentümlichkeiten der Widmannstättenschen Struktur, nämlich der Taenit und der Plessit, fehlten.

Der Meteorit ist inzwischen in den Besitz des mineralogisch-petrographischen Instituts der Universität Göttingen übergegangen.

Metallographisches Laboratorium, Göttingen im Dezember 1942.

Tafelerklärung.

Tafel 1.

- Abb. 1. Der Emslandmeteorit, Seitenansicht.
Abb. 2. Die in Abb. 1 rechte Seite des Blockes, Unterseite nach oben gekehrt.

Tafel 2.

- Abb. 3. Kräftig geätzte (HNO_3) Schliffprobe mit orientiertem Schimmer, $1\frac{1}{2} \times$.
Abb. 4. Widmannstättensches Gefüge (Einzelheiten), Salpetersäureätzung, $6 \times$.

Tafel 3.

- Abb. 5. Normaler Plessit, Ätzung mit alkohol. Pikrinsäure, $110 \times$.
Abb. 6. Übergang vom normalen zum dunklen Plessit. Ätzung mit alkohol. Pikrinsäure, $110 \times$.
Abb. 7. Übergang von normalem und dunklem Plessit, $190 \times$.
Abb. 8. Neumannsche Linien, Rhabdit und Ätzfiguren. Ätzung mit verd. Salpetersäure, $110 \times$.
Abb. 9. Neumannsche Linien im Plessit. Kräftige Ätzung mit alkohol. HNO_3 , $110 \times$.
Abb. 10. Zerklüftungslinien im Kamazit. Ätzung mit alkohol. Pikrinsäure, $110 \times$.
Abb. 11. Dunkler Plessit und Rhabditnadeln. Ätzung mit alkohol. Pikrinsäure, $110 \times$.
Abb. 12. Rhabditnadeln. Ätzung mit Natriumpikrat, $110 \times$.

Tafel 4.

- Abb. 13. Schreibersitkristall. Ätzung mit Natriumpikrat, $25 \times$.
Abb. 14. Schreibersiteinlagerungen an den Korngrenzen und feine rhabdit-ähnliche Aussonderungen im Kamazit. Natriumpikratätzung, $25 \times$.
Abb. 15. Phosphitausscheidungen im Plessit. Natriumpikratätzung, $110 \times$.
Abb. 16. Grenze der Brandzone. Ätzung mit verd. Salpetersäure, $190 \times$.
Abb. 17. Teilweise geschmolzener Schreibersit an der Grenze der Brandzone. Ätzung mit verd. Salpetersäure, $190 \times$.
Abb. 18. Vollständig geschmolzener Schreibersit in der Brandzone. Ätzung mit Natriumpikrat, $190 \times$.

Untersuchungen über ein Lößvorkommen bei Derenburg a. Harz.

Von

Hermann Jung in Jena

Mit 26 Abbildungen im Text.

Inhaltsübersicht: A. Einleitung. Beschreibung des Vorkommens Mikropaläontologischer Befund 66—72). B. Untersuchungsergebnisse (72—161. I. Physikalische Untersuchungen (72—96): 1. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht und Gefüge, Zerfallziffer. 2. Atterbergsche Konsistenzgrenzen. 3. Wasserkapazität. 4. Thermisches Verhalten. 5. Korngrößenverteilung. 6. Elektrische Aufladung. 7. Verhalten im ultravioletten Licht. 8. Radioaktivität. II. Der Mineralbestand (96—121): 1. Leichtmineralien: a) Qualitative Untersuchungen. b) Quantitative Untersuchungen der Fraktionen der Durchschnittsprobe (optisch, durch mechanische Abtrennung, mit Lumineszenzmikroskop, durch Anfärben). 2. Röntgenographische Untersuchung der Tonfraktion. 3. Elektronenmikroskopische Untersuchung der Tonfraktion. 4. Schwermineralien: a) Qualitativ. b) Quantitativ. 5. Quantitativer Mineralbestand der Durchschnittsprobe. 6. Errechnung des spezifischen Gewichts aus dem Mineralbestand. III. Die Korngestalt (Kornform, Kantigkeit, die Radienquotienten von Quarz und Granat) (121—131). IV. Chemische Untersuchungen (131—148): 1. Qualitative Untersuchungen. 2. Quantitative Analyse der Durchschnittsprobe. 3. Physiologische Löslichkeitsversuche. 4. Löslichkeit der Durchschnittsprobe in Essig- und Salzsäure. 5. Quarzbestimmung mit Borfluorwasserstoffsäure. 6. Chemische Untersuchungen der Fraktionen der Durchschnittsprobe. 7. Untersuchungen an Lößproben aus verschiedenen Horizonten. 8. Die Bestimmung von Kalkspat neben Dolomit mit Hilfe von Kupfernitratlösung. 9. Kolloidchemische Untersuchungen zum quantitativen Nachweis der Sorptionsträger. 10. Spektralanalytische Untersuchungen (Nachweis von Spurenelementen). 11. Chemische Untersuchung einer Lößpuppe. 12. Die Beschaffenheit der „Lehmschicht“. V. Berechnung des Mineralbestandes aus der chemischen Analyse (149—152). VI. Betrachtungen über die Entstehung des Derenburger Lößes (Diagenese, Ablagerung, Transport, Herkunft; Entstehung der Lößpuppen und der Lehmschicht) (152—161). C. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen (161—163). Schriftenverzeichnis (163—166). Abbildungen (166).

Einleitung.

Noch vor etwa 20 Jahren wurde die Ansicht geäußert, daß der Löß überall auf der Erde eine völlig gleichbleibende Zusammensetzung aufweise. So sagte z. B. Keilhack[44] in einem Vortrage: „Es gibt auf der Erde kein Sedimentgestein, daß bei völlig gleichbleibender Zusammensetzung eine derart ungeheure

Ausdehnung, besitzt wie der Löß. v. Richthofen war der erste, der darauf aufmerksam machte, daß ein Löß vom Rhein, vom Duklapaß in den Karpathen, von China und von Nordamerika sich absolut nicht unterscheiden lassen. Ich habe die gleiche Tatsache in Flandern, in der Schweiz, in der Börde, an der unteren Donau, in Südrußland, in Sibirien und Texas feststellen können . . .“

Diese Meinung konnte nur auf Grund makroskopischer Betrachtungen geäußert werden, denn sobald man sich die Mühe machte, den Chemismus oder Mineralbestand verschiedener Löße zu bestimmen, zeigten sich mehr oder weniger große Unterschiede.

Deshalb wies unter anderen auch Quaas [64] im Jahre 1921 mit Nachdruck darauf hin, daß der Löß für Petrographen und Sedimentgeologen ein weites und lohnendes Arbeitsfeld biete.

Wenn auch aus den letzten Jahrzehnten zahlreiche Veröffentlichungen über Löß vorliegen, so sind doch eingehende mineralogische Untersuchungen sehr spärlich vorhanden. In der Monographie von Scheidig [73] findet man z. B. keine einzige quantitative Mineralbestimmung. Auch vollständige chemische Analysen liegen nur in geringer Zahl vor. Wenig weiß man bisher über den tonigen Anteil und über die Schwerminerale im Löß.

In Deutschland nimmt der Löß verhältnismäßig große Flächen ein. Er bildet fast überall das Ausgangsgestein für die Steppenschwarzerde, welche zu den besten Böden gehört. Kennzeichnend für die Schwarzerde ist die für den Wasser- und Lufthaushalt günstige Krümelstruktur, die durch eine enge Bindung des reichlich vorhandenen Humus (besonders Huminsäuren) mit mineralischen Bodenbestandteilen bedingt ist. Diese Komplexe sind so stabil, daß man die Huminsäuren nicht mit Azetylbromid von der Mineralsubstanz trennen kann, was jedoch bei anderen Böden (braunen und podsolierten Waldböden) möglich ist. Es ist also zu untersuchen, wie die Umwandlung von Löß zu Schwarzerde vor sich gegangen ist und wie Mineralteilchen und Humus miteinander verbunden sind.

Nicht nur unter den bodenbildenden Gesteinen, auch unter den therapeutischen Erden nimmt der Löß eine hervorragende Stelle ein. Alte und neuere Erfahrungen haben gezeigt, daß wir im Löß ein einfaches, aber sehr wertvolles Heilmittel haben, mit dem vielseitige und überraschende Erfolge erzielt worden sind. Der Löß hat auch aus diesem Grunde allen Anspruch darauf, eingehend untersucht zu werden [41, 42, 50, 62]. Das Material, das für diese Zwecke in Deutschland verwendet wird, stammt fast ausschließlich aus einem Lößvorkommen bei Derenburg. Daher wurde gerade dieses Vorkommen eingehend untersucht.

Um Einblicke in die Beziehungen zur Schwarzerde zu erhalten, werden gegenwärtig einige Vorkommen Mitteldeutschlands im Jenaer Mineralogischen Institut bearbeitet.

Beschreibung des Vorkommens.

a) Topographie. Das untersuchte Lößvorkommen liegt auf Blatt Derenburg der geologischen Karte von Preußen (Lieferung 240, 1927), etwa 800 m vom Nordausgang der Stadt Derenburg entfernt (Abb. 1). Der größte Teil des Kartenblattes gehört zum nördlichen Harzvorland, dessen leichtwelliger Aufbau hauptsächlich durch diluviale und alluviale Absätze und Abtragungen bedingt ist. Südlich von Derenburg erstreckt sich in herzynischer Richtung ein Sandsteinzug,

der durch seine Bewaldung auffällt (Derenburg. Stadtforst). Im Norden wird dieser Geländestreifen durch das Holtemmetal begrenzt, das hier ein kurzes Stück durch den Sandsteinzug in die S-N-Richtung abgelenkt worden ist. Die große Einebnung nördlich der Holtemme, wo unser Lößvorkommen liegt, geht auf die Inlandeisbedeckung zurück. Die Ebene, die sich auf der anderen Seite der Holtemme,



Abb. 1.

südwestlich von Derenburg, erstreckt, gehört zum diluvialen Schotterkegel der zwischen Wernigerode und Benzingen ins Vorland tretenden Harzgewässer.

b) Geologie. In der Umgebung Derenburgs steht der Löß an erster Stelle unter den an der Oberfläche vorkommenden Gesteinen. Häufig überzieht er die anderen Ablagerungen aus der Diluvial- und Kreidezeit mit einer mehr oder weniger geschlossenen Decke.

Weiterhin besitzen die diluvialen Harzschotter eine große Verbreitung und die echt glazialen Ablagerungen. Die älteren Gesteine (Sandsteine, Mergel) gehören hauptsächlich der oberen Kreide an, die mehrere Hundert Meter mächtig ist.

Der primäre Löß ist jünger als alle anderen auf Blatt Derenburg vorkommenden Diluvialablagerungen, welche im Zusammenhang mit den beiden älteren der drei in Norddeutschland festgestellten Eiszeiten stehen. Daher muß unser Löß entweder in der letzten Interglazialzeit oder im Zusammenhang mit der dritten Vergletscherung entstanden sein, die nicht in unser Gebiet vorgestoßen ist. Da nun

eine interglaziale Fauna fehlt [21], kann der primäre Löß nur jüngst- oder postglazial sein.

c) Tektonik. Der Vorlandteil des Blattes Derenburg gehört zur subherzynen Kreidemulde, deren östlicher Teil durch den Quedlinburger Sattel in zwei Spezialmulden (Halberstädter und Blankenburger) geteilt wird (Abb. 2). Derenburg liegt gerade an der Grenze zwischen dem mittleren Teil der Hauptmulde und der Blankenburger

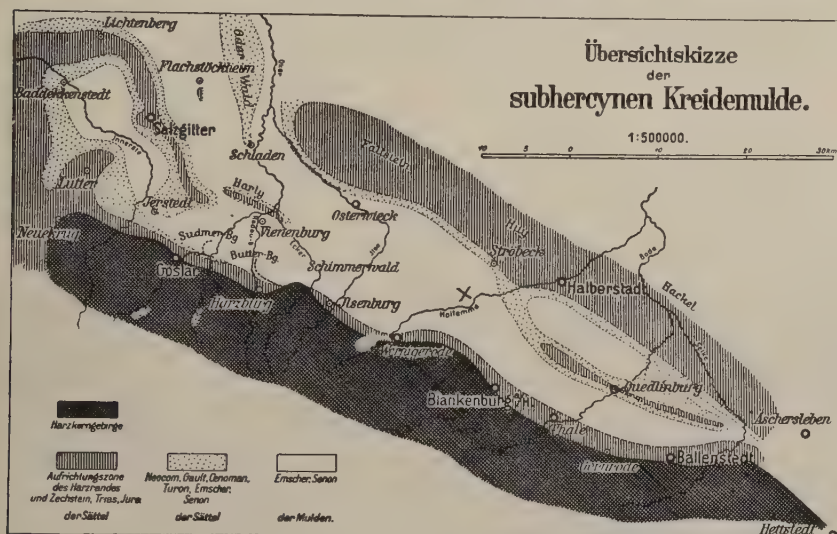


Abb. 2.

Mulde. Die Faltungsvorgänge im Harzvorland haben sich in der Oberen Kreide abgespielt. Auch der paläozoische Block des Harzes ist hauptsächlich während dieser Zeit herausgehoben worden. Den Harzrand begleitet eine durchschnittlich 1 km breite Überkippungs- oder Aufrichtungszone (Zechstein, Trias, Obere Kreide), die den Südflügel der subherzynen Kreidemulde darstellt. Diese Mulde hat also einen unsymmetrischen Bau, denn die Schichten des Nordflügels fallen flach und gleichsinnig nach Südwesten ein.

d) Die Fundstätte. Der Aufschluß (Abb. 3) ist im Mittel 4,80 m tief (davon etwa 1 m Humusschicht) und 65 m breit. Der Löß wird nach unten zu von einer „Lehmschicht“ begrenzt, die links über, rechts dagegen unter der Sohle liegt. Darunter folgen fluvioglazialer Sand und Kies mit nordischem Material. In der Lößwand finden sich, regellos verteilt (manchmal in einzelnen Nestern) zahlreiche gerundete Kalkstückchen (im Mittel von Walnußgröße), wogegen diese in der Lehmschicht sehr selten zu finden sind. In 60—80 cm Höhe über der Sohle sieht man ein zollbreites, stark wellig verlaufendes Kiesband,

das vorwiegend aus Kieselschiefern und Quarziten des Harzes sowie aus grünlichen Tonschiefern und grauem Kalkstein besteht. Hauptsächlich im unteren Teil des Aufschlusses, aber auch weiter oben, findet man zarte Bänder oder konzentrisch-schalige Ausscheidungen von Eisenhydroxyd, die vom Grundwasser herrühren könnten. Da aber während der jahrzehntelangen Arbeiten im Aufschluß solches nicht beobachtet worden ist, und da in einem auf der Sohle befindlichen Brunnen das Grundwasser erst in 8—9 m Tiefe erscheint, dürften die Eisenausscheidungen wohl auf die zersetzende Wirkung des Oberflächenwassers zurückzuführen sein. Schichtung ist nicht zu be-



Abb. 3.

obachten, dagegen ist die dem Löß eigentümliche senkrechte Klüftung besonders im Frühjahr sehr schön zu sehen. Auf den Kluftflächen findet man Überzüge von rein weißem Kalkspat, der auch in Form von Äderchen auftritt.

Die Klüftung wird meist als Folge der zahlreich vorhandenen, senkrecht verlaufenden Wurzelröhrchen und -stengel angesehen. Da im vorliegenden Falle Wurzelröhrchen nicht (oder sehr selten) auftreten, muß die Klüftung andere Ursachen haben. Dagegen wird der Löß, besonders im oberen Teil des Aufschlusses, kreuz und quer von Wurm-röhrchen (ein bis mehrere Millimeter dick) durchzogen. Die sich daraus ergebende Nadelstichtextur ist für die Luft- und Wasserführung des Lößes außerordentlich wichtig. Die größeren Wurm-röhrchen lassen ab und zu eine Querriefung erkennen. Häufig sind auch Hamsterbauten.

e) Mikropaläontologischer Befund. Im Derenburger Löß sind bisher weder paläontologische noch prähistorische Funde gemacht worden. Da nun die mikroskopische Untersuchung das Vorhandensein

von Foraminiferenresten ergab, habe ich die Untersuchungsstelle für Mikropaläontologie am Reichsanstalt für Bodenforschung in Berlin gebeten, eine genaue Bestimmung vorzunehmen. Diese wurde durch Vermittlung von Prof. Dr. F. Dahlgrün von Dr. C. A. Wicher vorgenommen. Beiden Herren sei auch an dieser Stelle für ihre Bemühungen herzlich gedankt. Das Untersuchungsergebnis ist folgendes:

„Die aufbereitete Probe ergab tatsächlich eine zwar individuenarme, aber verhältnismäßig artenreiche Fauna von Foraminiferen, Ostracoden, Inoceramenprismen, Spongiennadeln, Seeigelstacheln und Bryozoenresten.

Schon die Zusammensetzung der Fauna sowie ihre Erhaltung ließen keinen Zweifel, daß es sich um eine Oberkreidefauna handle. Der Fund einer *Rotalia exculpta* Rss. erlaubte eine Einengung auf den Bereich Emscher bis Senon. Nachdem schließlich noch ein Bruch-

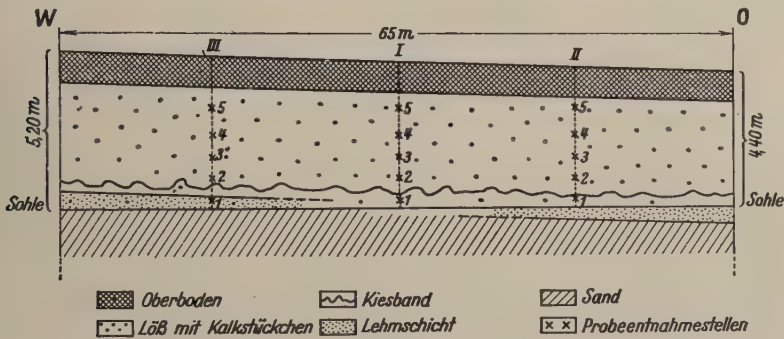


Abb. 4.

stück einer *Bolivina draco* Marss. gefunden wurde, kann das Alter der vorliegenden Fauna eindeutig als Mucronaten-Senon (und zwar Mittleres bis Unteres Mucronaten-Senon) angegeben werden“.

f) Probeentnahme. Zur Untersuchung des vorliegenden Lößes wurden drei Reihen von je 5 Proben entnommen; die Entnahmestellen sind im Profil verzeichnet (Abb. 4). Die oberen drei Proben liegen in dem Teil des Aufschlusses, der sich auch in Abb. 3 deutlich durch seine helle Farbe heraushebt. Außerdem wurde eine Durchschnittsprobe dadurch gewonnen, daß mit einem Spaten eine dünne Lößschicht von der Wand abgekratzt wurde. Aus dem zusammengetragenen Material, aus dem die Kalkstückchen herausgelesen worden waren, wurde dann eine Durchschnittsprobe von 5 kg entnommen. In einer dünnen Schicht wurde diese Probe im Zimmer vier Wochen hindurch unter häufigem Umschichten getrocknet, bis der Feuchtigkeitsgehalt praktisch konstant geworden war. Im lufttrockenen Zustande kommt dem Löß die Ostwaldsche Farbenbezeichnung

08	h	d
08	21	52

zu. Es ist also verhältnismäßig viel Grau vorhanden.

Der Aufschluß ist im Besitz der Heilerdegesellschaft Luvos Just K. G. in Blankenburg a. Harz. Das Material wird von ihr in Blankenburg auf hygienisch einwandfreie Weise aufbereitet und unter den Bezeichnungen Luvos-Heilerde und Proterra in den Handel gebracht. Für die mir bei meinen Untersuchungen jederzeit freundlichst gewährte Unterstützung möchte ich ihr herzlich danken, besonders den Herren O. Köhler und R. Just.

B. Untersuchungsergebnisse.

1. Spezifisches Gewicht, Raumgewicht und Gefüge.

Das spezifische Gewicht wurde mehrmals nach der Pyknometermethode in Wasser bestimmt (250 ccm Meßkolben, Einwaage 120 bis 150 g). Für die Durchschnittsprobe ergab sich bei 20° $2,649 \pm 0,003$.

Die Bestimmung des Raumgewichtes machte Schwierigkeiten, da sich wegen des geringen Zusammenhaltes größere Probekörper nicht gewinnen ließen. Bei den einzelnen Proben wurden zunächst die größten Stückchen herausgesucht. Daraus wurden kleine Würfel geschnitten und mit der Schublehre ausgemessen. Aus dem Verhältnis Gewicht:Volumen ergab sich das Raumgewicht. Größere Versuchsreihen zeigten, daß selbst aus faustgroßen Stücken nur etwa 5 ccm große Würfel geschnitten werden konnten und daher bei ein und derselben Probe zu große Schwankungen auftraten. Deshalb wurden die größeren Brocken mit einer Paraffinschicht überzogen und in Wasser das Volumen bestimmt. Der Mittelwert der Raumgewichte aller Proben aus den verschiedenen Horizonten ist $1,54 \pm 0,06$. Die betreffenden Proben waren mit aller Vorsicht aus der Lößwand herausgestochen (daher ungestörte Lagerung) und dann mehrere Wochen hindurch lufttrocken gemacht worden. Bei einem späteren Besuch des Aufschlusses (1942) konnte ein 377 g schweres Stück aus dem oberen Teil der Lößwand gewonnen und transportiert werden. Die Bestimmung (ebenfalls mit Hilfe von Paraffin) ergab 1,55 (4), was also gut mit dem Mittelwert übereinstimmt.

Aus dem Raumgewicht (R) und dem spezifischen Gewicht (s) läßt sich das Porenvolumen (n) bestimmen. Dieses bedeutet das Verhältnis der Hohlräume zum Gesamtvolumen der Probe in Prozenten

$$n = \left(1 - \frac{R}{s}\right) \cdot 100\%. \text{ Im vorliegenden Falle ist } R = 1,54 \text{ und } s = 2,65.$$

Daraus ergibt sich: $n = 42 \pm 2\%$.

Die Porenziffer ε stellt das Verhältnis der Hohlräume zum Volumen der Festmasse (Trockensubstanz) dar. Die Beziehung zwischen Porenvolumen und Porenziffer ist: $\varepsilon = \frac{n}{1-n}$. Beim vorliegenden Löß ist demnach $\varepsilon = 0,72 \pm 0,06$. Der Wassergehalt W im gesättigten Zustande wird nach Scheidig ([73], S. 97) nach folgender Formel berechnet: $W = \frac{\varepsilon}{R} \cdot 100\%$. Beim Derenburger Löß ist W demnach 27%. Experimentell (s. weiter unten) wurden 28% gefunden. Dabei macht sich gerade der Beginn des Fließens bemerkbar, da die Adhäsion der einzelnen Körner aufgehoben ist.

Es lag zunächst nahe, eine Abhängigkeit des Raumgewichtes von der Tiefenlage anzunehmen. Verschiedene Brocken aus ein und demselben Horizont zeigten jedoch so erhebliche Schwankungen, daß sich die erwähnten Beziehungen nicht erkennen ließen. Damit ist nicht gesagt, daß diese nicht vorhanden sind. Die Entscheidung läßt sich nur deshalb nicht treffen, weil sich an der Gewinnungsstätte keine größeren Brocken entnehmen ließen, um für die einzelnen Proben genauere Mittelwerte zu erhalten. Aus den Daten für das Raumgewicht ergibt sich aber, daß die Lößwand im großen ganzen eine recht einheitliche Beschaffenheit aufweist.

Nach der Ansicht von H. Häusler [34] soll sich durch Vergleich der Porenvolumina entscheiden lassen, ob ein Sediment äolischer oder fluviatiler Entstehung ist. „Äolische und fluviatile Sedimente werden in unterschiedlichen Medien aufbewahrt und unterliegen dadurch verschiedenen Umlagerungsvorgängen. Das Staubkorn des Windes wird nach seiner Ablagerung seinen Platz nicht mehr verändern. Das Korn aber, das sich im Wasser ablagerte, ist von einer Wasserhaut umgeben, dadurch wird der Reibungskoeffizient vermindert, die Setzung findet besser und leichter statt als in der Luft; in diesem Falle muß bei Verdunstung des Wassers eine Strukturveränderung eintreten. Wird demnach ein echter Löß mit poröser Struktur durch Wasser umgeschlämmt und neu sedimentiert, so wird das Porenvolumen geringer werden. Das Umschlämmen zerstört weitgehend die Krümelstruktur. Wenn wir dagegen einen in Wasser abgesetzten Löß umschlämmen, so muß das Porenvolumen gleich bleiben, oder durch Auflockerung des Gefüges etwas ansteigen“.

Beim Derenburger Löß ergibt sich aus den geologischen Verhältnissen, daß er unter Mitwirkung von Wasser abgesetzt worden ist. Demnach müßte das Porenvolumen gleich bleiben. In Glasschalen wurden die einzelnen Proben mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt, dann lufttrocken gemacht und schließlich einige Stunden im Trockenschrank bei 110° erhitzt. Zur Bestimmung des Raum-

gewichtetes der Probekörper wurden diese wieder mit Paraffin überzogen. Das Durchschnittsgewicht der Proben war 120 g. Als Mittelwert wurde für das Raumgewicht nach dem Umschlämmen gefunden: $1,59 \pm 0,06$. Daraus ergeben sich: $n = 40 \pm 2\%$, $\varepsilon = 0,67 \pm 0,06$ und $W = 25\%$. Das Porenvolumen ist also praktisch gleich geblieben, was für eine Ablagerung durch Wasser spricht.

Hierzu ist zweierlei zu sagen: Zunächst liegen die Werte vor (1,54) und nach dem Schlämmen (1,59) sehr eng beieinander, zudem greifen die Fehlergrenzen übereinander. Die Porenvolumina von ungestörtem und von umgeschlämmten Löß sind demnach sehr ähnlich. Zweitens ist sicher, daß ein in Wasser abgesetzter Löß später sein Porenvolumen bei der Diagenese vergrößern kann. Der Kalkspat, der zunächst in Körnerform vorliegt, wird bei genügender Durchfeuchtung des Lößes allmählich aufgelöst und während der Trockenzeiten in Form von Krusten auf anderen Mineralteilchen abgesetzt. Es erscheint durchaus möglich, daß auf diese Weise allmählich eine Krümelstruktur entsteht, daß dieser Löß allmählich zum echten Löß ausreift. Es kann also auch ein in Wasser abgelagerter Löß ein hohes Porenvolumen besitzen, ob allerdings dieses bis zu 65% wie beim Windlöß (bei dem noch die Wurzelröhrchen hinzukommen) anwachsen kann, muß erst noch nachgeprüft werden.

Obwohl natürlicher und umgeschlämmter Löß gleiches Porenvolumen zeigen, ist doch ihr Gefüge sehr verschieden. Im umgeschlämmten Löß kann man viele Hohlräume sehen, die von Luftbläschen herrühren, welche beim Dichtschlämmen nicht entweichen konnten. Die umgeschlämmten Proben besitzen eine etwas höhere Standfestigkeit. Der Löß in natürlicher Lagerung weist vorwiegend Feinstruktur auf, deren Ursache heute noch nicht geklärt ist. Man hat an Luft- oder Wasseradsorption, an elektrische und Schwellvorgänge gedacht. Letztere treten bei wiederholtem Quellen und Wiederaustrocknen auf, sie sind schon von W. Schuhmacher [17] beobachtet worden. „Wird ein stereometrischer Körper aus Lehm von unten kapillar mit Wasser gesättigt, so tritt eine beträchtliche Volumenausdehnung ein, die beim Austrocknen nicht wieder verloren geht. Bei Wiederholung des Versuchs tritt eine weitere Volumenausdehnung ein, bis schließlich der Gefügestand sich nicht mehr ändert.“

Eine umgeschlämmte Probe vom Derenburger Löß wurde auf die gleiche Weise behandelt, ohne daß eine merkliche Volumenveränderung auftrat. Daraus darf man schließen, daß andere Vorgänge zur Krümelbildung geführt haben.

Im mitteldeutschen Löß kommt der Kalkspat vorwiegend als Kruste auf den übrigen Lößbestandteilen vor (Scheidig, S. 75). Schon Keilhack [44] hat bezweifelt, daß dies die ursprüngliche Art

des Auftretens sei. Er nahm an, daß das Karbonat zunächst in Körnerform vorhanden war und dann diagenetisch gewandert ist.

Die mikroskopische Untersuchung hat gezeigt, daß im Derenburger Löß die Teilchen bis $20\ \mu$ herunter (also rund 70% der Gesamtmasse) vorwiegend nicht mit einer Karbonatkruste, sondern mit einer Tonhaut umkleidet sind. Vielleicht sind nur die feinsten Teilchen durch Kalk verkittet. Die Hauptmasse des Kalkspats liegt noch in Form von Körnern vor. Demnach haben sich bisher nur unbedeutende diagenetische Veränderungen vollzogen. Das kommt auch an der graugelben Farbe des Lösses zum Ausdruck. Erst wenn größere Mengen an CaCO_3 umgelagert worden sind, und das darin enthaltene FeCO_3 sich in Eisenhydroxyd umgewandelt hat, zeigt der Löß das typische gelbbraune Aussehen.

Die Krümelbildung ist demnach beim Derenburger Löß nicht durch dünne Kalkhäutchen bedingt, sondern durch die tonige Substanz, die wegen der in genügender Menge vorhandenen Ca-Ionen in ausgeflockter Form vorliegt und große Klebrigkeit besitzt. Selbst durch Kochen mit Salzsäure ist die Tonhaut von den Quarzkörnchen schwer zu entfernen, wie Anfärbeversuche mit Methylblau gezeigt haben. Es ist bekannt, daß Formsande für Gießereien bei Zusatz von nur etwa 1% Montmorillonit schon „stehen“, indem jedes Sandkorn von einem klebenden, aber auch plastischen Film überzogen wird, so daß dadurch eine bewegliche Verkittung der einzelnen Körner erfolgt. Auch der in den Fraktionen $< 2\ \mu$ auftretende Glimmer dürfte für die Verkittung der Teilchen in Betracht kommen. Vielleicht hat auch der Frost mit zur Krümelbildung beigetragen, was ja den Landwirten lange bekannt ist.

Vom Gefüge ist auch die Zerfallsziffer im Wasser abhängig. Nach Scheidig [73] wirft man einen Lößwürfel von 1 cm Kantenlänge in dest. Wasser. Durch das aufgesaugte Wasser wird die Luft aus dem Löß verdrängt und entweicht unter heftigem Brausen; schließlich entsteht ein Schlammkegel. Die Zeit, die zum Zerfall notwendig ist, beträgt für ungestörte lufttrockene Proben beim echten Löß 0,5 Min., beim Lößlehm 2—4 Min. und beim Sumpflöß 8—10 Min. Beim vorliegenden Löß wurde eine Zerfallszeit von 50 Sek. festgestellt; danach gehört er zum echten Löß, obwohl er unter Wasser abgesetzt worden ist.

2. Die Atterbergschen Konsistenzgrenzen.

Wenn auch die Gewinnung der Atterbergschen Konsistenzgrenzen nicht immer absolut genau ist, so sind sie dennoch zur Kennzeichnung einer Bodenart sehr geeignet. Zur Bestimmung der Fließgrenze wurden in einer Porzellanschale (runder Boden, 10 cm Durch-

messer) 5 g Löß mit Wasser zu einem Brei verrührt. Der Brei wurde mit einem Nickelspatel zu einer knapp 1 cm dicken Schicht ausgeflacht und in zwei Teile geteilt (Abb. 5a). Mit der Schale wurde dann

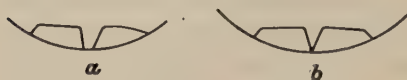


Abb. 5 a, 5 b.

mehrmals und kräftig gegen die Innenseite der Hand geklopft, um die bei den Hälften zum Zusammenfließen zu bringen. Durch Probieren

wurde schließlich das Verhältnis Löß:Wasser gefunden, bei welchem die beiden Hälften beim Klopfen gerade nur im untersten Teil zusammenfließen (Abb. 5b). Der Wassergehalt (auf 100 g wasserfreie Substanz berechnet) ergab die Fließgrenze.

Zur Bestimmung der Ausrollgrenze hat Atterberg [1] folgendes angegeben: „Ein Teil des Tonteiges wird unter den Fingern auf einer Unterlage von Papier zu Drähten ausgerollt. Die Drähte werden wiederholt zusammengelegt und wieder ausgerollt, bis sie bei dem Ausrollversuche zu Bröckchen zergehen. Wenn die Drähte zu kürzeren Stückchen zergehen, hat es keine Bedeutung. Nur müssen die Stückchen, wenn zusammengelegt, sich fortwährend ausrollen lassen. Gerade, da, wo die Drähte zu Bröckchen zu zerfallen beginnen, wird mit dem Rollen aufgehört.“ Aus Fließ- und Ausrollgrenze ergibt sich die Plastizität:

$$\text{Plastizität} = \text{Fließgrenze} - \text{Ausrollgrenze}.$$

Die Grenze der Schwerflüssigkeit wird in der Weise bestimmt, daß man zu dem Brei aus einer Spritzflasche so viel Wasser gibt, daß die Masse zu fließen beginnt. Dann wird mit einem Glasstab eine Furche in den Brei gezogen. Wenn diese in einer halben Minute wieder verschwindet, ist die Grenze erreicht. Ein Teil wird dann abgewogen und der Gleichgewichtsverlust bei 110° bestimmt (berechnet auf 100 Teile des getrockneten Materials). Die Werte liegen zwischen 30 und 180; beim Derenburger Löß ergab sich 44,3.

Zum Vergleich sind die Konsistenzgrenzen vom Derenburger Löß mit anderen in Tabelle 1 zusammengestellt.

Nach der Plastizitätszahl gehört der Derenburger Löß zu den echten Lössen, die nach Scheidig auf primärer Lagerstätte vorkommen. Die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen sollen in einem späteren Abschnitt erörtert werden.

Zur Kennzeichnung der Löss untereinander sind die Atterbergschen Zahlen nicht geeignet, da sie zu dicht beieinander liegen; dagegen lassen sich die Löss gegenüber den Lössleimen, den Sanden und Tonen auf diese Weise schnell und sicher abgrenzen.

Tabelle 1.

Die Atterbergschen Konsistenzgrenzen einiger Löße.

Vorkommen	Art	Ent- stehung	Fließ- grenze	Ausroll- grenze	Plasti- zitäts- zahl
Derenburg	Löß		20,9	16,6	4,3
„	„Lehmschicht“		25,8	—	—
Gedersdorf (N.-Ö.)	Windlöß	primär	25	21	4
Roßbach (Saale)	„	„	26	21	5
Löthain in Sa.	Lößlehm	„	30,4	19,6	10,8
Altenburg (Thür.)	„	sekundär	33	17	16
Török St. Miklos, Ungarn	Sumpflöß	„	44	21	23

3. Wasserkapazität.

Bei vergleichenden Untersuchungen von Heilschlammen und verwandten Stoffen haben Stockfisch und Benade [81] auch die Wasserkapazität bestimmt. Es ist die Größe, die angibt, welche Wassermenge die betr. Substanz festhalten kann, nachdem man sie mit einem Überschuß an Wasser versetzt hat. Die naturfeuchten Proben (10 g bei Moor und 25 g bei Mineralschlamm Trockensubstanz entsprechende Mengen) wurden, nachdem sie mit Wasser zu einem dünnflüssigen Brei verrieben

worden waren, in tarierte Glaszylinder gebracht. Diese wurden am unteren Ende

durch ein feinmaschiges Drahtnetz mit Filtrierpapier-einlage verschlossen, welches durch ein Kautschukband festgehalten wurde (Abb. 6).

Das überschüssige Wasser tropfte in darunter gestellte Flaschen oder wurde aus dem Zylinder vorsichtig abgehebert. Die Zylinder wurden dann täglich gewogen, bis nahezu Konstanz erreicht war. Dieser Zeitpunkt wurde je nach der Substanz in

2—14 Tagen erreicht. Die Wasserkapazität berechnet sich folgendermaßen:

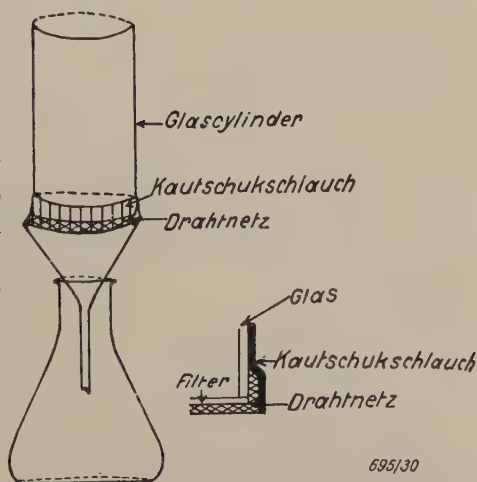


Abb. 6.

		I	I	III	IV
	Wasser	Löß, Deren- burg, Handels- packung	Pistyan, Handels- packung	Eifel- fango, Handels- packung	Kaolin
Wasserkapazität in % Gewicht eines Liters Schlamm bei voller Wasserkapazität (luft- frei) in Gramm . . .	—	42,0	47,0	48,5	52,0
Trockensubstanzgehalt in %	—	1806	1736	1791	1660
Wärmeleitung u. Wärme- konvektion im Vergleich zu Wasser x-mal ge- ringer	—	70,42	68,03	67,8	66,44
Wärmefortleitungs- geschwindigkeit für 6cm	—	3	4	6	6
Zeit des Temperaturab- falles von 18° auf 17°.	30"	1' 30"	2'	3'	3'
Zeit für den inneren Wärmeausgleich . . .	1' 45"	7' 6"	8' 54"	9' 51"	10' 30"
	1'	13'	18'	17'	19'

a = Gewicht der mit Wasser gesättigten Substanz + Glaszylinder

b = Gewicht des Glaszylinders mit feuchtem Filter

c = Angewandte Menge, berechnet auf wasserfreie Substanz (10 oder 25 g)

$$\frac{a - (b + c) \cdot 100}{c} = \text{Wasserkapazität in Gew.-%.}$$

Aus Tabelle 2 (Stockfisch und Benade) ergibt sich, daß der Derenburger Löß auf 100 g Trockensubstanz nur 42 g Wasser binden kann und demnach von den untersuchten Stoffen die kleinste Wasserkapazität besitzt. Die so ermittelte Wasserkapazität ist fast genau so groß wie der Wert für die Grenze der Schwerflüssigkeit nach Atterberg.

4. Thermisches Verhalten.

Wie schon in der Einleitung erwähnt worden ist, wird der Derenburger Löß mit ausgezeichnetem Erfolg auch in der Heilkunde verwendet. Er kommt sowohl innerlich als auch äußerlich zur Anwendung [41]. Mit Wasser angerührt, wird er zu Packungen, Bädern usw. benutzt. Die Frage ist nun, ob der Löß mehr für eine Wärmebehandlung oder mehr zur Kühlung der Haut geeignet ist. Eingehende vergleichende Untersuchungen, in die auch der Derenburger Löß ein-

belle 2.

V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Battaglia- fango, trocken	Odessa, natur- feucht	Wil- helms- haven, natur- feucht	Moor- erde, Eilsen	Moor- erde, Neun- dorf	Moor- erde, Fran- zensbad	Faul- schlamm Dr. Ro- senberg	Hoch- moor Braunlage (Badkon- sistenz)
54,0	56,0	161,0	255,0	252,0	290,0	674,0	1243,0
1709	1680	1305	1172	1169	1131	1073	1021
66,0	64,1	38,3	28,17	28,4	25,65	12,92	6,05
4	7	7	11	12	13	13	20,8
2'	3' 30"	3' 30"	5' 30"	6'	6' 30"	6' 30"	10' 24"
11' 54"	12' 12"	16' 48"	21' 9"	21' 50"	23' 40"	24' 24"	25' 48"
19'	25'	34'	50'	55'	56'	57'	58'

bezogen wurde, haben Stockfisch und Benade [81] angestellt, indem sie den Abkühlungsverlauf mittels ihrer „Kugelmethode“ feststellten. Hierzu wurde der Schlamm in ein kugelförmiges Gefäß (Inhalt 1 Liter) gebracht. Als Ausgangstemperatur wurde jeweils 18° gewählt. Um vollkommen ausgeglichene Temperatur in der Kugel zu haben, wurde diese in ein Wasserbad (11 Liter Inhalt), das genügend thermo-isoliert war, gebracht. Da die Temperatur der Umgebung während des Abkühlungsversuches gleichbleibend sein muß, wurde die Kugel mit der Schlammprobe zu Beginn des Versuches in ein Eisbad (12 Liter Inhalt) gebracht. Die Ablesungen erfolgten an einem Thermometer (Teilung in hundertstel Grade), dessen Quecksilberkörper sich im Mittelpunkt der Kugel befand. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Diese Zahlen haben nur Wert, wenn sie mit entsprechenden anderen Schlammproben verglichen werden (Tabelle 2, Abb. 7—9). Wie sich aus Abb. 7 ergibt, ändert sich während der ersten Minute nach dem Eintauchen der Kugel in Eis die Temperatur nicht. Je nachdem, wie groß das Wärmefortleitungsvermögen ist, dringt die Abkühlung mehr oder weniger schnell in das Innere der Kugel vor.

Dieser Vorgang ist nicht nur von dem absolutem Wärmeleitvermögen, sondern auch von der Wärmekonvektion abhängig.

Temperaturabfall von 18°-17° C.

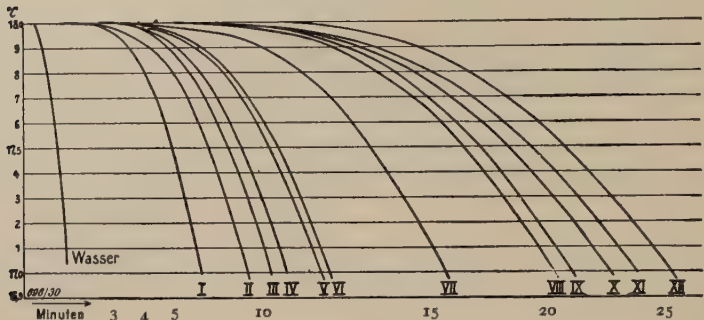


Abb. 7.

Vorwiegend haben wir es beim Abkühlungsverlauf mit der direkten Wärmeleitfähigkeit zu tun, weil die Wärmeströmung wegen der dickbreiigen Beschaffenheit gering ist. Die Wärmeleitfähigkeit bedeutet die Wärmemenge in cal, welche durch 1 cm² in einer Sekunde hindurchfließt, wenn in der dazu senkrechten Richtung eine Temperaturabnahme um 1 Grad auf 1 cm erfolgt. Bezogen auf Silber = 1 liegen die Werte für die Mineralien zwischen 0,002 und 0,006. Der Wert für Wasser ist 0,0012.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, beträgt die Wärmefortleitungsgeschwindigkeit für 6 cm bei Wasser nur 30 Sek., weil eine lebhafteste Wärmeströmung wirksam ist. Da letztere bei den Schlammen mehr oder weniger beschränkt ist, so geht trotz größerem absolutem Wärmeleitvermögen die Wärmeausbreitung bei diesen langsamer von statten. So dauert es beim Derenburg-Löss 1' 30'', beim Wilhelmshavener Schlack sogar 3' 30'', bis das Thermometer einen Temperaturabfall anzeigt. Der weitere Verlauf der Kurven ist aus der Abb. 7 zu ersehen. Danach ist der Temperaturabfall bei den einzelnen Schlammen sehr verschieden. Während die Zeit des Temperaturabfalls bei Wasser nur 1' 45'' beträgt, macht sie bei den Schlammen im Höchstfall fast eine halbe Stunde aus. Man erkennt deutlich 2 Gruppen; zur ersten gehören die Mineralschlamm, zur zweiten die Faulschlamm und Moore. Von den untersuchten Mineralschlammen hat der Löss das geringste Wärmehaltungsvermögen. Die Zeit des Temperaturabfalls von 18° auf 17° beträgt nur 7' 6'', immerhin ist sie wesentlich höher als für reines Wasser (1' 45'').

Abb. 8, die den gesamten Abkühlungsverlauf wiedergibt, zeigt, daß sämtliche Kurven den gleichen Verlauf aufweisen. Der Abkühlungsverlauf zerfällt in drei Abschnitte:

1. Die Abkühlung dringt zur Kugelmitte vor (waagerechter Teil der Kurve).
2. Innerer Wärmeausgleich (Kurvenabfall mit zunehmender Geschwindigkeit).
3. Reguläre Abkühlung (Wendepunkte in den Kurven, die flacher verlaufen).

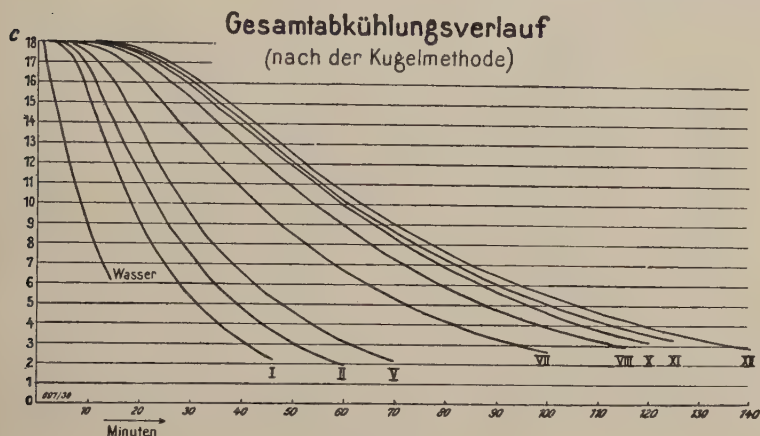


Abb. 8.

Sehr schön kommen diese Verhältnisse zum Ausdruck, wenn wir die Temperaturen logarithmisch auftragen. Da nämlich in der dritten Phase die Temperaturerniedrigungen weitgehend dem Newtonschen Abkühlungsgesetz entsprechen, muß für diesen Abschnitt eine Gerade entstehen. So kann man diese Phase von der vorhergehenden leicht graphisch abtrennen. Auch der Winkel, den die Gerade mit der Abszisse bildet, läßt sich bestimmen: je schneller die Abkühlung, desto größer der Winkel (Abb. 9).

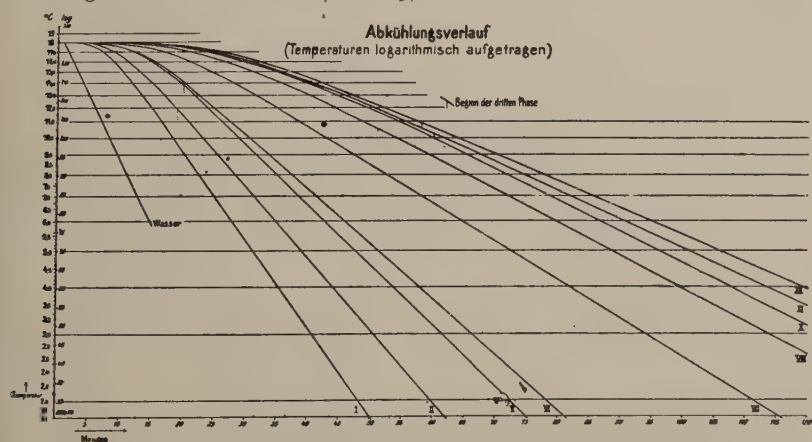


Abb. 9.

Tabelle 3.

Temperaturabfall von 18°—17° C (nach Stockfisch und Benade).
Trockensubstanzgehalt bei der thermischen Untersuchung: 70,42%.

Zeit	Temp.	Zeit	Temp.	Zeit	Temp.
0—1,5 Min.	18,000°	8 Min.	16,51°	23 Min.	7,67°
2,0	17,999	9	15,90	24	26
2,5	995	10	24	25	6,87
3,0	990	11	14,55	26	52
3,5	971	13	13,15	27	17
4,0	927	14	12,59	28	5,85
4,5	858	15	11,89	29	56
5,0	765	16	26	30	27
5,5	628	17	10,64	33	4,49
6,0	468	18	08	36	3,83
6,5	272	19	9,56	39	27
7,0	043	21	8,57	42	2,78
7,5	16,793	22	11	45	37

Vergleicht man die einzelnen Schlammarten nach ihrem thermischen Verhalten, so sieht man, daß unser Löß am schnellsten abkühlt. Wenn es also, wie bei entzündlichen Prozessen, auf möglichst starke Wärmeabfuhr ankommt, sind Lößbreie besonders geeignet¹⁾. Daß neben der wärmeentziehenden Wirkung auch noch andere Eigenschaften des Lößes hervorragend wirksam sind, soll nicht unerwähnt bleiben.

Die erwähnte thermische Eigenart des Lößes ist nicht nur dadurch bedingt, daß der Mineralgehalt des Breies am höchsten ist (das Wärmeleitvermögen der Mineralien ist, wie schon erwähnt, 2—5mal höher als des Wassers), auch die spez. Wärme ist von großer Bedeutung, welche Wärmemenge entzogen werden muß, um Abkühlung um 1 Grad zu erreichen. Löß hat die spez. Wärme 0,202. In dem von Stockfisch und Benade untersuchtem Löß sind je Liter 1272 g Trockensubstanz enthalten mit einer spez. Wärme von 257 cal. Da im Brei 534 g Wasser mit 534 cal enthalten sind, beträgt demnach die Wärmekapazität eines Liters Lehm-brei 791 cal. Werden einem Liter Lehm-brei 791 cal entzogen, so sinkt die Temperatur um 1 Grad; bei einem Liter Moorbrei dagegen bewirkt die gleiche Kalorienzahl nur eine Abnahme von 0,82°. Entscheidend für das thermische Verhalten ist also die Wasserkapazität, da Wasser die höchste spez. Wärme hat.

¹⁾ Damit soll natürlich nicht der Eindruck erweckt werden, daß heißer Lößbrei therapeutisch keine Bedeutung hat; im Gegenteil, man hat auch damit (bei entsprechend häufiger Anwendung) sehr gute Wirkungen erzielt.

5. Die Korngrößenverteilung.

Häufig wird der Korngrößenverteilung der Sedimente, insbesondere beim Löß, eine entscheidende Bedeutung beigemessen. Ja, manche Arbeiten über den Löß befassen sich überhaupt nur mit der mechanischen Analyse (z. B. [23]). Man glaubt, auf diese Weise sei ein Lößvorkommen genügend gekennzeichnet, um daraus weitere Schlüsse auf Entstehung, Verwitterung usw. ziehen zu können. Durch die mechanische Analyse wird das Sediment in eine Summe von Mineralteilchen zerlegt. Damit wird allerdings in den seltensten Fällen eine Aufteilung erreicht, wie sie ursprünglich vorgelegen hat. Besonders häufig ist das Kalziumkarbonat, das ursprünglich in Form von Körnern vorhanden war, z. T. aus dem Löß verschwunden, zum anderen Teil umgelagert worden und bildet nun Krusten auf anderen Teilchen. Auch die Feldspäte und Glimmer können nachträglich zersetzt worden sein. Ja, sogar Schwerminerale können der Verwitterung anheimfallen. Lebhaft ist in den letzten Jahren die Frage erörtert worden, ob sich die Ablagerungsbedingungen (fluviatil oder äolisch) aus der mechanischen Analyse ableiten lassen. Dazu soll am Schluß dieses Abschnitts Stellung genommen werden.

Bevor der Löß der mechanischen Analyse unterworfen wird, muß er in Einzelkornstruktur überführt werden. Dafür kommen nur mechanische Vorbehandlungsverfahren in Betracht, besonders da Humus nur in ganz geringen Mengen vorhanden ist. Eine Probe (10 bzw. 20 g) wurde in 0,01 n-Ammoniak eingeweicht [11], mit den Fingern zerrieben und dann 5—6 Stunden auf einer Horizontalschüttelmaschine (etwa 120 Umdrehungen je Minute) geschüttelt. Da der vorliegende Löß wenig toniges Material enthält und überdies kaum Kalkkrusten auftreten, genügt diese Art der Aufbereitung vollkommen.

Für die Durchführung der Schlämmanalyse kamen nur solche Methoden in Betracht, die eine tatsächliche Trennung der einzelnen Anteile ermöglichen (Atterberg-Zylinder und Kopecky-Kraus-Apparat). Für das Sedimentationsverfahren nach Atterberg wurde 0,01 n-Ammoniaklösung verwendet, da bei Benutzung von destilliertem Wasser ein erheblicher Kalkverlust eintritt [11]. Für jede Fraktion waren 10—12 Abschlammungen notwendig. In Tabelle 4 sind die den Korngrößengrenzen zugrunde gelegten Fallgeschwindigkeiten, -zeiten usw. zusammengestellt. Für die Fraktion $< 0,2 \mu$ wurde die Pipettmethode verwendet (Fallgeschwindigkeit v für $20^\circ = 0,00003479$ cm/sec; Fallhöhe 10 cm; Fallzeit 32,4 Tage). Beim Spülverfahren nach Kopecky-Kraus wurde als Stabilisator auch Li-Oxalat verwendet und dann 4 Stunden geschüttelt.

Die Ergebnisse der mechanischen Analyse sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Zum besseren Vergleich wurde auch die Summenlinie (Abb. 10) gezeichnet. Zu diesem Zwecke wurde auf der Abszisse der Korndurchmesser in Millimeter (logarithmischer Maßstab) aufgetragen und auf der Ordinate die Summenprozente, d. h. die Zahlen, die angeben, wieviel Prozente der Teilchen größer als der betr. Korn-

durchmesser sind. Für manche Zwecke ist es vorteilhaft, die numerische Einteilung zu benutzen, bei der die Verzerrung des Längenmaßstabes vermieden wird.

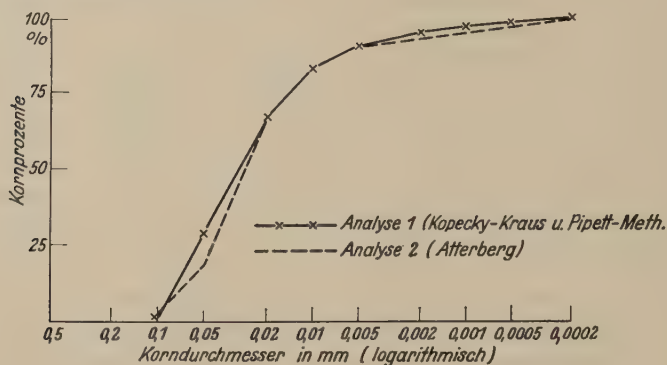


Abb. 10.

Tabelle 4.

Schlammanalyse nach Atterberg.

$$\text{Formel von Stokes: } v = \frac{2}{9} \frac{(D_1 - D_2) \cdot g}{\eta} \cdot r^2 = C \cdot r^2$$

v = Fallgeschwindigkeit (cm/sec); D_1 = spez. Gew. der Teilchen = 2,65;
 D_2 = spez. Gew. des Wassers bei 19° C = 0,99845; g = Gravitationskonstante = 981;
 η = innere Reibung des Wassers bei 19° C = 0,01034;
 r = Äquivalentradius der Teilchen; daraus $C = 34790$.

Teilchengröße		Fallgeschwindigkeit $v = C \cdot r^2$	Fallhöhe	Fallzeit	Korngrößengruppen
r in cm	Durchmesser in μ				
0,00010	2	0,00034790	20 cm	16 Stunden	< 2 μ
0,00025	5	0,002174	„	2 Std. 33 Min.	2— 5 μ
0,00050	10	0,008697	„	38 Min. 33 Sek.	5— 10 μ
0,00100	20	0,034790	„	9 Min. 35 Sek.	10— 20 μ
0,0025	50	0,2174	„	1 Min. 32 Sek.	20— 50 μ
0,0050	100	0,8697	„	23 Sek.	50—100 μ
					> 100 μ

Vergleicht man die einzelnen Schlammanalysen miteinander, so fallen die starken Schwankungen besonders der Korngrößengruppen 0,1—0,05 mm und 0,05—0,02 mm auf. Auch bei einer Wiederholung der Versuche (auch von anderen Personen) zeigten sich die stark voneinander abweichenden Ergebnisse¹⁾. Wodurch sind diese nun zu er-

¹⁾ Ebenso mit einem anderen Kopecky-Kraus-Apparat. Für eine Schlamm-analyse bin ich Herrn Forstmeister Dr. W. Bujakowsky (gefallen 1941 an der Ostfront) von der Versuchsstelle für forstliche Bodenkunde in Jena dankbar.

klären? Entweder hat die Kopecky-Kraus-Fraktion 0,1—0,05 mm größere Beträge kleiner Teilchen, oder umgekehrt weist die Atterberg-Fraktion 0,05—0,02 mm zu viel grobe Teilchen auf.

Tabelle 5.

Ergebnisse mechanischer Analysen (Analyse 1 nach Kunze-Vogel).

	1.	2.	3.	4.
		Siebung:	Atterberg:	Pipett-Methode:
2 — 1 mm \varnothing	—	0,32	2,2	33,0
1 — 0,5 „	—	0,28		
	Kopecky-Kraus:	Kopecky-Kraus:		
0,5—0,2 „	0,7	0,79	15,1	39,0
0,2—0,1 „		0,94		
0,1—0,05 „		33,80		
50 — 20 μ	37,7	36,50	49,8	
	Pipett-Methode:			
20 — 10 „	16,6	27,37	15,9	13,5
10 — 5 „	7,2		6,8	8,1
5 — 2 „	3,8		2,6	4,0
2 — 1 „	2,3		6,5	2,4
1 — 0,5 „	1,9			
0,5—0,2 „	1,1			
			Pipett-Methode:	
< 0,2 „	0,9		0,4	

Bei der Siebung ergab sich ferner: > 7 mm 0,02%, 7—4 mm 0,1%, 4—2 mm 0,2%. „Lehmschicht“: < 2 μ 14 bzw. 12,8% (Mittel 13,4%) nach Atterberg.

Beim Atterberg-Verfahren ist bekanntlich der Stromlinienverlauf beim Ablassen der Flüssigkeit ungünstig, so daß bereits abgesetzte gröbere Teilchen wieder aufgewirbelt werden können und in die feinere Fraktion gelangen. Dann müßte also die Fraktion 0,05 bis 0,02 mm viele Teilchen > 0,05 mm aufweisen. Andererseits wäre daran zu denken, daß durch das häufige Durchschütteln der Proben eine Zerkleinerung der Teilchen herbeigeführt wird, was sich aus dem Vergleich der Atterberg- und Pipett-Analyse ergibt. Wenn der Fehler beim Spülverfahren liegt, so könnte das durch die Vorbehandlung mit Li-Oxalat bedingt sein, da auf der Oberfläche Ca-Oxalat entstanden und dadurch eine Kornvergrößerung eingetreten ist. Aber auch bei der Aufbereitung mit Ammoniak ergab sich dasselbe Bild.

Die mikroskopische Untersuchung zeigte nun zunächst, daß in der Fraktion 0,1—0,05 mm keine Umkrustung der Körner durch Ca-

Oxalat erfolgt war. Daraufhin wurde die Größe der einzelnen Mineralkörner mit Hilfe des Mikrometerokulars bestimmt, um damit die Korngrößenverteilung innerhalb der einzelnen Fraktionen erkennen zu können. Wenn die Körner auch selten in Form von Kugeln vorliegen, so kann man doch genügend genaue Werte bekommen, wenn man das arithmetische Mittel zwischen dem größten und kleinsten Durchmesser der ellipsoidischen Durchschnitte bestimmt. Streng genommen, müßte man erst den Inhalt der Ellipsen und daraus den Durchmesser eines flächengleichen Kreises berechnen. Wie aus Tabelle 6 und 7 hervorgeht, liegt das Verhältnis der sichtbaren Hauptachsen meist unter 1,6, so daß der Fehler nur gering ist.

Tabelle 6.

Verhältnis der sichtbaren Hauptachsen in Fraktion 0,1—0,05 mm.

Verhältnis- zahlen	Fraktion nach		Kalkspat herausgelöst	
	Atterberg	Kopeccky- Kraus	Atterberg	Kopeccky- Kraus
	%	%	%	%
1,0	3	5	5	5
1,1	16	4	7	17
1,2	9	10	13	9
1,3	16	15	13	10
1,4	11	11	18	13
1,5	8	14	11	9
1,6	6	10	7	11
1,7	7	6	9	6
1,8	14	9	5	7
1,9	2	5	2	3
2,0	4	3	2	4
> 2,0	4	7	8	6

Die Meßergebnisse sind in den Tabellen 8 und 9 sowie graphisch in den Abb. 11 und 12 dargestellt. Die Proben wurden sowohl mit als auch ohne Kalkspat untersucht. Besonders stark auseinander gezogen sind die Kurven, die sich auf die Fraktionen 0,1—0,05 mm beziehen. Der Fraktionsbereich wird weit über die untere Grenze hinaus überschritten, besonders von der Spülfraction mit Kalkspat; hier liegen etwa 70% unter 0,05 mm. Bei Atterberg wird nur von 23% der Körner die untere Grenze überschritten. Während die Summe der Teilchen zwischen 0,1 und 0,02 mm bei allen Schlämmanalysen etwa gleich groß ist, ist die Verteilung innerhalb dieses Bereiches verschieden; sie entspricht den tatsächlichen Verhältnissen am besten beim Atterberg-Verfahren. Auch die Schlämmanalyse von Kunze-

Tabelle 7.

Verhältnis der sichtbaren Hauptachsen in Fraktion 0,05—0,02 mm.

Verhältnis- zahlen	Fraktion nach		Kalkspat herausgelöst	
	Atterberg	Kopecky- Kraus	Atterberg	Kopecky- Kraus
	%	%	%	%
1,0	2	7	7	4
1,1	16	5	18	12
1,2	15	11	15	11
1,3	12	19	17	19
1,4	13	15	11	14
1,5	4	7	4	16
1,6	12	6	3	10
1,7	5	8	7	6
1,8	8	2	5	1
1,9	4	—	3	1
2,0	3	10	4	5
> 2,0	6	10	6	1

Vogel hat gezeigt, daß verschiedene Methoden zu verschiedenen Ergebnissen führen können. Man kann daher der auch von anderen Seiten erhobenen Forderung, nicht nur die Analysenergebnisse, sondern auch das angewendete Verfahren anzugeben, nur zustimmen. Noch besser ist es, wie das vorliegende Beispiel zeigt, das Ergebnis mikroskopisch zu überprüfen. Man sieht dann auch, ob sich die Korngrößen gleichmäßig über den ganzen Bereich verteilen, oder ob an einzelnen Stellen ein Maximum vorhanden ist.

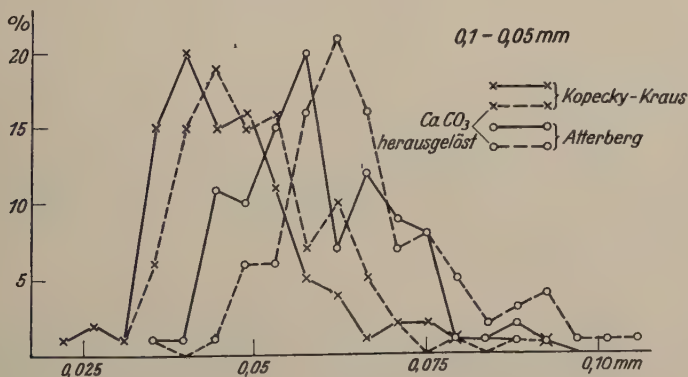


Abb. 11.

Betrachtet man alle Kurven, die sich auf die Fraktion 0,1 bis 0,05 mm beziehen, so sieht man, daß die kalkspatfreie Fraktion nach

Atterberg recht gut in den betreffenden Korngrößenbereich hineinpaßt.

Eine viel bessere Innehaltung der Fraktionsgrenzen bei allen Verfahren ist im Bereich 0,05—0,02 mm festzustellen. Beim Spülverfahren liegen 22% außerhalb der unteren Grenze, beim Atterberg-Verfahren nur 5% der Teilchen.

Die Wirkung des HerauslöSENS des Kalkspats ist bei dieser Fraktion jedoch z. T. eine andere als beim Bereich 0,1—0,05 mm. Da der Kalkspat sein Korngrößenmaximum nahe bei $50\ \mu$ hat, bewirkt seine Entfernung, daß sowohl nach Kopecky-Kraus als auch nach Atterberg der prozentuale Anteil nach der oberen Fraktionsgrenze zu kleiner

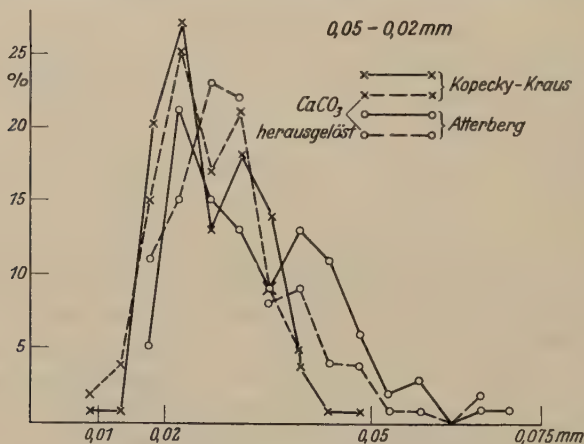


Abb. 12.

wird, andererseits der prozentuale Anteil der kleineren Teilchen ansteigt.

Von den übrigen Proben des Aufschlusses wurden keine vollständigen Schlämmanalysen vorgenommen, sondern nur der tonige Anteil $< 2\ \mu$ bestimmt (nach Atterberg). Die Werte zeigten keine Abhängigkeit von der Höhenlage. Der Mittelwert dieser Bestimmungen ergab sich zu $7,02 \pm 1,5\%$ in guter Übereinstimmung mit dem Wert der Durchschnittsprobe (6,9%).

Es wäre nun interessant zu wissen, ob auch bei anderen Untersuchungen über Löß sich so starke Abweichungen zwischen Spülverfahren und Atterberg-Methode ergeben haben. Dscheng Wang [15] hat 33 Schlämmanalysen (nach Kopecky-Kraus) an chinesischen Lößvorkommen veröffentlicht; von diesen zeigen 21 ein Überwiegen der Fraktion 0,1—0,05 über die nächst kleinere. Leider läßt sich nicht nachprüfen, ob hier ein methodischer Fehler vorliegt. Dagegen zeigen

Tabelle 8.

Mikroskopische Bestimmung der Korngrößenverteilung in der
Fraktion 0,1—0,05 mm
(1 Teilstrich des Mikrometerokulars = 4,4 μ)

Teilstriche	Fraktion nach		Kalkspat herausgelöst	
	Atterberg %	Kopecky- Kraus %	Atterberg %	Kopecky- Kraus %
5		I		
6		I		
6½		I		
7		—		
7½		I		
8		8		I
8½	I	7	I	4
9	I	16	—	2
9½	—	4	—	10
10	7	10	—	5
10½	4	5	I	15
11	6	11	—	4
11½	4	5	4	9
12	10	9	2	6
12½	5	2	5	7
13	15	2	I	9
13½	5	3	13	7
14	6	2	3	—
14½	I	2	17	5
15	9	—	4	5
15½	3	I	13	2
16	7	I	3	3
16½	2	I	7	I
17	3	—	—	I
17½	5	2	4	—
18	I	I	4	—
18½	—	—	4	I
19	I	—	I	—
19½	—	I	2	—
20	2	—	—	—
20½	—	I	3	—
21	I	—	—	I
21½	—	—	4	—
>	I	—	—	I

deutschen Löße, die nach Atterberg untersucht wurden, vor-
sich das Korngrößenmaximum bei 0,05—0,02 mm.

Man hat versucht, aus der Korngrößenverteilung eines feinkörnigen Sedi-
auf dessen Entstehung zu schließen, ob es sich um eine äolische oder

Tabelle 9.

Mikroskopische Bestimmung der Korngrößenverteilung in der
Fraktion 0,05—0,02 mm

(1 Teilstrich des Mikrometerokulars = 4,4 μ)

Teilstriche	Fraktion nach		Kalkspat herausgelöst	
	Ätterberg	Kopecky-Kraus	Ätterberg	Kopecky-Kraus
	%	%	%	%
2		1		
2 $\frac{1}{2}$		—		2
3		1		3
3 $\frac{1}{2}$		—		1
4	4	10	8	7
4 $\frac{1}{2}$	1	10	3	8
5	16	13	11	17
5 $\frac{1}{2}$	5	14	4	8
6	12	4	23	6
6 $\frac{1}{2}$	3	9	—	11
7	7	12	21	11
7 $\frac{1}{2}$	6	6	1	10
8	5	7	8	9
8 $\frac{1}{2}$	4	7	—	—
9	9	2	9	5
9 $\frac{1}{2}$	4	2	—	—
10	10	1	4	—
10 $\frac{1}{2}$	1	—	—	—
11	5	1	4	—
11 $\frac{1}{2}$	1	—	—	—
12	1	—	1	—
12 $\frac{1}{2}$	1	—	—	—
13	2	—	1	—
13 $\frac{1}{2}$	1	—	—	—
14	—	—	—	—
14 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—
15	1	—	2	—
15 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—
16	—	—	—	—
16 $\frac{1}{2}$	1	—	—	—
>	—	—	—	2

fluviatile Ablagerung handelt. Nach Kölbl [47] kann man Sedimente mit einem Korngrößenbereich von 0,2—0,02 mm auf Grund folgender Überlegungen genetisch bestimmen: Die Sinkgeschwindigkeit kleinster Teilchen in Luft ist bis 0,05 mm herauf praktisch gleich Null, in Wasser liegt die Grenze bei 0,02 mm. Das bedeutet, daß bis zu dieser Grenze eine schwebende Bewegung möglich ist, größere Teilchen werden am Boden weiterbewegt. Das transportierte Material wird also in zwei Anteile zerlegt (in Luft: Flugstaub und Flugsand, in Wasser:

Auelehm und Flußsand, abgesehen von größerem Material). Kölbl wählte danach 4 Anteile aus: A < 0,02 mm, M 0,02—0,05 mm, F 0,05—0,2 mm, G > 0,2 mm. Ist A + M > 50%, so soll das betreffende Sediment eine echt äolische Bildung sein (Flugstaub und Löß). Dagegen liegt eine Flußablagerung vor, wenn M + F + G > 50% ist.

Fauler [23] konnte nun zeigen, daß die Fallzeiten und Fallhöhen die Kölbl benutzt hat, bei Anwendung der Stokes-Oséenschen Formel zu anderen Korndurchmessern führen, als sie Kölbl in seiner Arbeit angegeben hat.

Tabelle 10.

\varnothing in mm nach Kölbl	\varnothing in mm berechnet von Fauler
A < 0,02	A ₁ < 0,015
M 0,02—0,05	M ₁ 0,015—0,038
F 0,05—0,2	F ₁ 0,038—0,3
G > 0,2	G ₁ > 0,3

Danach beziehen sich Kölbls Betrachtungen nicht auf die Korngröße 0,02—0,05 mm, sondern auf 0,015—0,038 mm. Die von Fauler gezeichneten Sinkgeschwindigkeitskurven sind in Abb. 13 und 14 wiedergegeben. Auffallend

Berechnet nach Stokes-Oséén

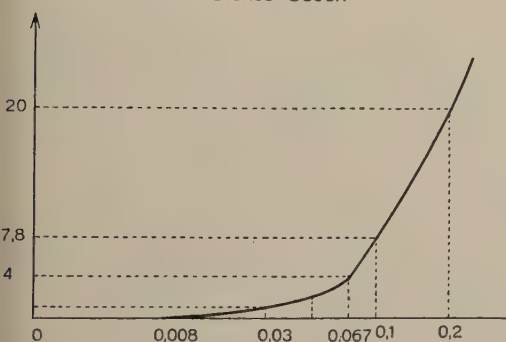


Abb. 13.

Berechnet nach Stokes-Oséén

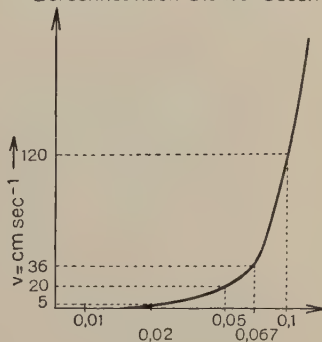


Abb. 14.

ist die Ähnlichkeit der Sinkgeschwindigkeiten in Wasser und in Luft. Bis 0,067 mm ändert sich die Sinkgeschwindigkeit nur langsam, erst von da ab steigen die Kurven schnell an. Auch Fauler zerlegt seine Proben in vier Anteile:

Tabelle 11.

A ₂ 0,002—0,03 mm	F ₂ 0,067—0,1 mm
M ₂ 0,03 —0,067 „	G ₂ > 0,1 „

Bei Vorherrschen von A₂ + M₂ soll es sich um äolische, bei Vorherrschen von M₂ + F₂ + G₂ um fluviatile Sedimente handeln.

In unserem Falle beträgt die Summe der Teilchen < 0,067 mm (A₂ + M₂ nach Fauler) rund 90%, diejenige > 0,03 mm (M₂ + F₂ + G₂) gleich 46%.

Gesetzt den Fall, die Kölbl-Faulerschen Voraussetzungen wären richtig, so wäre damit entschieden, daß der Derenburger Löß äolischer Entstehung ist.

Gegen die Auffassung Faulers hat F. Kümel [49] mit Recht folgendes entgegnet: Erstens kommt es nicht darauf an, welche von den Summen $A_2 + M_2$ und $M_2 + F_2 + G_2$ die größere ist, sondern es ist entscheidend, welche von beiden $> 50\%$ ist. Zweitens liegt der Übergang vom flachen zum steilen Kurvenstück bei den Abb. 13 und 14 im gleichen Bereich. Es ist demnach nicht berechtigt, den Anteil 0,03—0,06 für genetische Betrachtungen herauszugreifen¹⁾. Kümel hat dann für eine Reihe von typ. Flußablagerungen die Summe $A_2 + M_2$ und $M_2 + F_2 + G_2$ (nach Failer) ermittelt. Beim Elb- und Weichselschlick war die erste Summe stets größer als die zweite, beim Rheinlehm ebenso oft über als unter 50%. Damit ist bewiesen, daß die Schlämmanalyse für genetische Betrachtungen nicht ausgewertet werden kann.

In der Tat zeigen manche Hochflut-(Aue-)lehme den gleichen Verlauf der Summenlinie wie der Löß. Manche Löße können daher aus trüben Hochwasserfluten entstanden sein [9]. Die meisten Hochflutlehme zeigen aber, im Gegensatz zum Löß, noch eine zweite Hochlage der Differentialkurve, und zwar bei 0,2—0,1 mm [66].

Am Schluß dieses Abschnitts sei noch einmal betont, daß man auf keinen Fall ausschließlich auf Grund mechanischer Analysen weitgehende Schlüsse ziehen darf. Zum mindesten müssen daneben mikroskopische Untersuchungen vorgenommen werden.

6. Elektrische Aufladung.

Daß feinkörnige, lockere Sedimente bei Bewegung in Luft elektrisch aufgeladen werden, ist besonders den Meteorologen lange bekannt. Klähn [46] hat u. a. drei verschiedene Lößvorkommen daraufhin eingehender untersucht. Beim Derenburger Löß wurde in der gleichen Weise die elektrische Aufladung bestimmt. 50 g Löß wurden bei 100° erhitzt und nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur durch einen Glastrichter²⁾ in ein ebenfalls isoliertes, gut getrocknetes Becherglas geschüttet, das durch einen Kupferdraht mit einem Elektrometer verbunden war. Aus einer größeren Anzahl von Bestimmungen ergaben sich hierbei im Mittel 1200 Volt. Bei diesen Versuchen wurde der Löß beim Ausschütten so verteilt, daß möglichst die ganze Innenfläche des Trichters mit dem Löß in Berührung kam. Gießt man das Pulver direkt in das Trichterrohr, so ist die Reibung der Körner und damit auch die Spannung erheblich geringer (im Mittel 800 Volt).

Die elektrische Spannung ergibt sich aus den Spannungen der Mineralien, welche den Löß aufbauen: Quarz, Feldspat, Kalkspat, Glimmer und Montmorillonit. Klähn ließ je 50 cm³ Sandmehl,

¹⁾ Dazu kommt, daß die Verhältnisse in der Natur dadurch schwer erfassbar sind, weil Wirbelbildungen in den transportierenden Medien eine große Rolle spielen.

²⁾ Mündungsweite 0,5 cm, Länge des Trichterrohres 8 cm; Durchmesser des Trichters 6,7 cm, Länge des Trichters vom oberen Rand bis zum Beginn des Rohres 6,5 cm.

Kalkspat-, Feldspat- und Kaolinpulver durch einen Glastrichter von 5 mm Mündungsweite gehen und fand folgende Werte.

Tabelle 12.

Material	Art der Ladung	Spannung im Auffanggefäß Volt	Kalkgehalt %
Sand (98% < 0,06 mm) .	—	1500—2000	—
Kalkpulver	+	> 2500	100,00
Löß von Kiew	—	250—100	6,25
„ „ Bonn	—	500—250	21,27
„ „ Bahlingen	—	750—400	37,29
Kaolinmehl	—	2000	—
Feldspatmehl	—	> 2000	—

Demnach ist nur der Kalkspat positiv geladen. Hohe Potentiale zeigen Quarz, Kalkspat, Kaolin und Feldspat; der Löß dagegen erreichte bei Klähn höchstens 750 Volt. Über die Ursache der niedrigen Aufladung des Lößes äußerte sich Klähn folgendermaßen:

„Daß der Löß relativ geringe Spannungen aufweist, hängt vielleicht mit der verschiedenartigen Ladung der einzelnen Komponenten zusammen. Wir sahen ja, daß z. B. der Kalk positiv, hingegen der Quarz negativ geladen ist. Man sollte nun meinen, daß, wenn man eine Mischung von gleichen Teilen Kalkspat und Quarz herstellt, eine vollkommene Neutralisation stattfindet. Das ist auch der Fall, wenn gleiche Volumina Quarzmehl und Kalkspatmehl hintereinander abfließen. Nicht man sie jedoch zu gleichen Teilen, dann erhält man immer noch 1000 Volt Spannung und der Ladungssinn entspricht demjenigen des Quarzmehls (—). Erst wenn man 54,5% CaCO_3 zusetzt, rückt die Ladung auf 500 Volt (—), bei 58,3% CaCO_3 auf 100 Volt, ist aber dann auch noch immer negativ. Diesen Verhältnissen nachzugehen, muß fernerer Untersuchungen vorbehalten bleiben.“

„Daß aber der Kalkgehalt des Löß die Ladung beeinflusst, zeigten mir folgende Versuche: Ich löste den Kalk einer Probe des Löß von Kiew auf und verglich die Ladung des kalkhaltigen und kalkfreien Materials. Dann stellte ich die Mischung des kalkfreien Löß mit 6,1% Kalkpulver her, was dem Kalkgehalt des Löß von Kiew entspricht. Es ergab sich:

Tabelle 13.

(aus Klähn [46]).

25 cm³ Material. Brausenförmiges Abfließen des Löß.

Löß von	Nicht entkalkt Volt (—)	Entkalkt Volt	Natürliche Mischung Volt
Kiew (6,25% Kalk) . . .	ca. 80	1800	750
Bonn (21,27% Kalk) . . .	„ 150	2500	—
Bahlingen (37,29% Kalk) .	„ 350	2750	—

„Aus der Tabelle geht ganz deutlich der Einfluß des Kalkes auf die Ladung des Löß hervor. Auffallend bleibt jedoch, daß bei Mischungen, welche den natürlichen Verhältnissen entsprechen, nicht die zu erwartende starke Reduktion der Spannung eintritt. Vielleicht hängt dies damit zusammen, daß der benutzte gefällte Material ist, während im Löß kristalliner Kalk vorkommt“.

Der Derenburger Löß läßt sich demnach viel stärker aufladen als die von Klähn untersuchten Löße. Der Grund liegt offenbar darin, daß der Kalkspat hier in einzelnen Körnern und nicht als Kruste auf den anderen Mineralteilchen auftritt. Wenn nämlich die Mineralkörner von Kalkspat umhüllt sind, werden sie sich nicht negativ aufladen können; daher wird in diesem Falle die Gesamtspannung niedriger sein, als wenn die Teilchen isoliert auftreten. Dies ergibt sich auch aus den Tabellen 12 und 13. Eine Zunahme des Kalkspatgehaltes bewirkt nämlich, wie Klähn experimentell gefunden hat, eine Herabsetzung der negativen Aufladung. Die von Klähn aufgeführten Löße zeigen aber mit zunehmendem Kalkgehalt gerade eine entsprechende Erhöhung der Aufladung. Diese sich anscheinend widersprechenden Tatsachen finden ihre Erklärung in der Art des Auftretens des Kalkspates.

Übrigens kann auch die Korngröße bei der verschiedenen Aufladung der Löße eine Rolle spielen, da nach den Klähnschen Versuchen die Aufladung mit fallender Korngröße stark zunimmt. Auch die Feuchtigkeit der Proben ist von großer Bedeutung; dagegen hat sich die Luftfeuchtigkeit als weniger bedeutend erwiesen. Die elektrische Aufladung ist, ebenso wie bei den Kolloiden, ein Oberflächenproblem.

Klähn hat die elektrische Aufladung für die Frage nach der Ablagerung subaërischer Sedimente ausgewertet. Da angenommen werden kann, daß der Derenburger Löß mit Hilfe des Wassers abgelagert worden ist, kommen seine Schlußfolgerungen hier nicht in Betracht. Dagegen kann die elektrische Aufladung des Lößes für dessen therapeutische Anwendung Bedeutung haben.

7. Verhalten im ultravioletten Licht.

Hierfür wurde sowohl die Hanauer Quarzlampe als auch das Lumineszenzmikroskop von Zeiss benutzt. An dieser Stelle soll nur über die Versuche mit der Quarzlampe berichtet werden (Tabelle 14), die mikroskopischen Untersuchungen mit Hilfe des ultravioletten Lichtes dienten zur quantitativen Erfassung des Mineralbestandes und sollen daher später erörtert werden.

Zum Vergleich wurden noch zwei Lößproben von Jena und aus der Eisenacher Gegend untersucht, die ebenfalls dunkelrotbraun, aber ohne Beimengung von Violett lumineszierten. Im allgemeinen

Tabelle 14

Material	Lumineszenzfarbe
Löß von Derenburg:	
a) Nicht aufbereitet	dunkelrotbraun mit Stich ins Violette
b) Fein aufbereitet	dgl., etwas kräftiger
c) Mit HCl behandelt	wie a)
d) geglüht ¹⁾	wie a)
Sekundäre Kalkspatadern	blauweiß
Lößpuppe	gelb- bis graublau (etwas violett)
Lößpuppe geglüht	gelb- bis graubraun mit gelblichen Flecken.

wird man also die Löße durch ihre Lumineszenzfarbe nur schwer voneinander unterscheiden können. Der sekundäre Kalkspat in den kompakten Lößproben hebt sich sehr deutlich durch seine blauweiße Farbe heraus. Daß die Lößpuppen mehr ins Gelbe aufleuchten, ist durch den hohen Gehalt an Kalkspat bedingt, der im Gegensatz zum sekundären Kalkspat bituminöse Substanzen enthält; nach dem Glühen konnte man im Pulver der Lößpuppen zahlreiche gelbe Punkte beobachten, in denen sich offenbar die organische Substanz angereichert hatte.

8. Radioaktivität.

Über die Radioaktivität des Derenburger Lößes liegt eine Bestimmung vor, die vom Physikalischen Institut der Universität Halle vor 10 Jahren durchgeführt worden ist. Nach der γ -Strahlmethode ergab sich ein Radiumgehalt von weniger als 10^{-9} g Radium pro Gramm Substanz. Der Vergleich der Aktivität nach der α -Strahlmethode mit der von Fangoschlamm ergab, daß 1 g Löß $5,3 \cdot 10^{-12}$ g Radium enthält.

Vergleicht man diesen Wert mit denjenigen, die Gockel [32] für die Granite ($2,7 \cdot 10^{-12}$ g Ra in 1 g Gestein) und für die Sedimente ($1,4 \cdot 10^{-12}$ g) erhalten hat, so ist die außerordentlich hohe Aktivität des Lößes überraschend. Nun ist aber zu bedenken, daß der Löß aus der Grundmoräne ausgeblasen worden ist, die zur Hauptsache aus nordischem Material besteht. Da in Norwegen Gesteine mit seltenen Erden sehr verbreitet sind (besonders Granit- und Syenitpegmatite), wäre eine hohe Radioaktivität des Lößes durchaus verständlich. Leider liegen bisher keine weiteren Bestimmungen über die Aktivität vor. Da nun diese sowohl wissenschaftlich als auch praktisch (in therapeutischer Hinsicht) von großer Bedeutung ist, mußte der vorliegende Wert nachgeprüft werden.

Die erforderliche Apperatur stand mir hier leider nicht zur Verfügung. Daher habe ich das Reichsamt für Bodenforschung in

¹⁾ Im Porzellantiegel über Bunsenbrenner.

Berlin gebeten; eine neue Bestimmung vorzunehmen. Hierbei ergab sich je Gramm Löß $4,8 \cdot 10^{-12} \text{g Ra}$ in befriedigender Übereinstimmung mit dem bereits vorhandenen Wert.

Herrn Professor Dr. K. Stockfisch vom R. f. B. möchte ich auch an dieser Stelle für seine Bemühungen bestens danken.

II. Der Mineralbestand.

Zu diesen Untersuchungen wurden die Atterberg-Fractionen benutzt; eine direkte Untersuchung des nicht aufbereiteten Lösses war wegen des weiten Korngrößenbereiches nicht gut möglich. Während die Teilchen bis 2μ herunter optisch bestimmt werden konnten, mußte die Tonfraktion nach der Debye-Scherrer-Methode röntgenographisch untersucht werden. Mit Bromoform (spez. Gew. 2,9) wurden die Leichtminerale von den Schwermineralen getrennt. Jede Gruppe wurde sowohl qualitativ als auch quantitativ untersucht. Gerade auf die quantitative Bestimmung wurde großer Wert gelegt, da dies für die Kennzeichnung eines Lösses von besonderer Bedeutung ist und sich auf dieser Grundlage Vergleiche zwischen verschiedenen Lössvorkommen sicher durchführen lassen.

Von jeder Fraktion wurden 3—4 Präparate mit Kanadabalsam angefertigt. Außerdem wurden Präparate hergestellt, nachdem der Kalkspat durch Essigsäure herausgelöst und quantitativ bestimmt worden war.

I. Leichtminerale.

a) Qualitative Untersuchungen.

Quarz. Dieses Mineral ist der weitaus wichtigste Bestandteil vom Löss. Am Fehlen von Zersetzungserscheinungen und an der Lichtbrechung ist er leicht von den übrigen Mineralien zu unterscheiden. Vollkommen klar durchsichtige Quarzkörner sind allerdings selten; meist sind kleine, unregelmäßig angeordnete Einschlüsse von opaken Körnchen vorhanden, manchmal so reichlich, daß die Körner fast undurchsichtig erscheinen. Hin und wieder sind die Einschlüsse perl-schnurartig angeordnet. Vermutlich handelt es sich um Titanomagnetit oder Ilmenit. Das läßt sich aus dem hohen Titangehalt der Gesamtanalyse schließen, der bei den mit Bromoform abgetrennten Schwermineralien nur zu einem kleinen Teil untergebracht werden kann. Ganz selten sind lange Rutilnadelchen eingelagert. Hin und wieder sind rotbraune (dilut gefärbte) Quarzkörner anzutreffen, bei denen die Farbe flächenhaft verteilt ist. An Einschlüssen konnten weiterhin ausnahmsweise Zirkon, Hornblende (wie bei Moosachat) und Biotit (?) beobachtet werden.

Über die Kornform und den Abrollungsgrad werden weiter unten zahlenmäßige Angaben gemacht werden. Vollkommen abgerundete Körner sind nur in der Fraktion $> 100 \mu$ zu finden.

Der muschelige Bruch des Quarzes bedingt bekanntlich keilförmige Ränder und daher gegen die Mitte der Körner ansteigende

Interferenzfarben zwischen gekreuzten Nicols. Beim vorliegenden Löß ist diese Erscheinung ebenfalls häufig zu beobachten, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei groben Sandkörnern.

Umkrustungen mit Kalziumkarbonat sind kaum festzustellen. Das ist dadurch bedingt, daß im Derenburger Löß nach seiner Ablagerung nur eine ganz unbedeutende Wanderung des Kalziums stattgefunden hat. Umkrustungen mit Eisenoxyd kommen manchmal vor.

Undulöse Auslöschung konnte ab und zu an den Quarzkörnern beobachtet werden.

Kalkspat (und Dolomit). Neben Quarz sind Karbonate wesentliche Bestandteile vom Löß. Gerade der Kalkgehalt ist für die Bodenbildung und für die medizinische Verwendung dieses Erdstoffes von hervorragender Bedeutung. Man hat darüber gestritten, ob der Kalkspat ein primärer oder sekundärer Bestandteil des Lößes sei. Für den Derenburger Löß kann als sicher angenommen werden, daß die Karbonatteilchen gleichzeitig mit den übrigen Bestandteilen zur Ablagerung gekommen sind.

Durch seine hohe Doppelbrechung fällt dieses Mineral sofort zwischen gekreuzten Nicols auf. Es tritt in viererlei Form auf: 1. in deutlichen, meist schwach gerundeten Rhomboedern, die gewöhnlich klar durchsichtig sind. Durch die starke Reliefänderung beim Drehen des Objekttisches lassen sich die in Kanadabalsam eingebetteten Kriställchen leicht erkennen. Oft kann man die rhomboedrische Spaltbarkeit und auch die Zwillingslamellen nach $\{11\bar{2}1\}$ gut sehen.

Diese Ausbildung des Kalkspats ist offenbar ausschließlich sekundärer Entstehung. Man kann dies nämlich schon mit bloßem Auge an den rein weißen oder bläulichweißen Kalkspatausscheidungen, die sich in Hohlräumen vorfinden, beobachten. Diese sollen sich meist um Pflanzenwurzeln herum gebildet haben. Im vorliegenden Falle konnten jedoch Wurzelreste und eine röhrenförmige Beschaffenheit nicht festgestellt werden. Es handelt sich um einfache Ausfüllungen von Hohlräumen.

Die erwähnten Rhomboeder sind in den Hohlräumen in parallelen Reihen aneinander gereiht. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man ein einzelnes Gebilde vorsichtig aus dem Löß herauspräpariert. Bei der Schlämmanalyse tritt ein Zerfall in einzelne Rhomboeder ein.

Es ist möglich, daß der sekundäre Kalkspat zuerst als Gel ausgeschieden wurde, da man gelegentlich das Bertrandsche Kreuz beobachten kann.

2. in Körnern von Kalkstein (manchmal kugelförmig mit Kern), die stets Einschlüsse von organischen Substanzen enthalten, welche manchmal schichtenförmig angeordnet sind. Diese Art der Karbonate

ist beim Derenburger Löß am häufigsten (weit über 90% der vorhandenen Karbonate) und rührt von Stinkkalkablagerungen her. Bei Behandlung mit Salzsäure kann man nämlich einen bituminösen Geruch feststellen. Behandelt man eine größere Menge Löß (etwa 100 g) mit Säure, filtriert und dampft das Filtrat ein, so zeigt sich zum Schluß eine ölige Haut auf dem Rückstand.

3. selten in nadelförmigen Kriställchen, welche wahrscheinlich langgezogenen Rhomboedern entsprechen, und wie sie auch in ungarischen Lößen beobachtet worden sind [84]. Der Auslöschungswinkel in bezug auf die Längserstreckung beträgt bei einem Teil der Nadeln 40° . Andere Nadeln zeigten für n_o - und n_e -Werte, die beide über dem vom Kanadabalsam lagen, und eine Auslöschungsschiefe von etwa 24° ; hier handelt es sich offenbar um Braunspat.

4. in Form von Bruchstücken von Foraminiferenschalen usw.

Daß ein erheblicher Teil der Karbonate als Dolomit vorliegen muß, ergibt sich daraus, daß der CaO-Gehalt vom Löß nicht ausreicht, um die vorhandene Kohlensäure zu binden. Überdies bleibt nach Behandlung mit Essigsäure ein Teil der Karbonate ungelöst, was ebenfalls auf Dolomit (bzw. andere schwerlösliche Karbonate) hinweist. Nach Aragonit wurde vergeblich gesucht.

Feldspäte. In etwa ebenso großer Menge wie der Kalkspat kommen die Feldspäte vor. Es wurden beobachtet: Orthoklas, Albit, Oligoklas-Andesin, basische Plagioklase und Mikroklin. Bei weitem am häufigsten ist der Orthoklas, der an der Lichtbrechung, der geraden Auslöschung an basalen Spaltblättchen und dem Fehlen polysynthetischer Zwillingsriefung erkannt wurde. Diese Feldspatkörner waren meist vollkommen frisch, nur ausnahmsweise zeigte sich an einzelnen Stellen eine schwache bräunliche Trübung, die als beginnende Kaolinsierung gedeutet werden kann. Die gute Spaltbarkeit war selten, dann aber recht gut zu beobachten. Die Form der Orthoklaskörner ist selten tafelig, meist sind es unregelmäßig begrenzte Splitter. Schwarze oder schwarzbraune Einschlüsse sind hin und wieder zu finden, gar nicht selten in dendritischer Ausbildung. In mehreren Körnern waren opake Nadeln (oder Tafeln?) parallel orientiert. Einmal wurde ein Korn gefunden, daß durch und durch mit einem farblosen Mineral durchspickt war, das auf Grund seiner optischen Eigenschaften (gerade Auslöschung, hohe Lichtbrechung, schwache Doppelbrechung) für Topas gehalten wurde.

Da der Umriß nur in wenigen Fällen eine Entscheidung über die Auslöschungsschiefe zuließ, war eine Abtrennung gegen Albit oder allgemein gegen sauren Plagioklas leider nicht immer möglich. Das Fehlen der Zwillingsriefung spricht nicht ohne weiteres für Orthoklas, da ja die sauren Plagioklase in den kristallinen Schiefern im allge-

meinen unverzwilligt auftreten. Die Alkaliwerte der einzelnen Fraktionen zeigten, daß bei den Feldspäten, deren Lichtbrechung unter der von Kanadabalsam liegt, nur ein Teil Orthoklas sein kann; ein anderer Teil ist entweder saurer Plagioklas ohne Zwillingsriefung oder Natron-orthoklas. Mikroperthit war nur sehr selten zu beobachten.

Saurer Plagioklas mit Zwillingsriefung ist nur in geringer Menge vorhanden (etwa 5% der gesamten Feldspatmenge).

In etwas größerer Menge findet man einen Oligoklas-Andesin, mit einer Lichtbrechung, die z. T. niedriger, z. T. höher als Kanadabalsam ist. Die Abgrenzung gegen Quarz macht in diesem Falle besondere Schwierigkeiten, zumal auch die Zwillingsriefung fast immer fehlt.

Ganz vereinzelt nur tritt basischer Kalknatronfeldspat auf, der höhere Lichtbrechung als Kanadabalsam und Zwillingsriefung zeigt und etwa dem Andesin zuzurechnen ist. Auch dieser Feldspat ist, wie alle übrigen, vollkommen frisch.

Glimmer. Auch die Glimmer sind im Löß in beachtlicher Menge vorhanden, was früher allerdings häufig bestritten worden ist. Besonders in den feineren Fraktionen ist der Glimmer ein wesentlicher Bestandteil. Am häufigsten ist Muskovit, der in vollkommen frischen Schuppen und Blättchen auftritt und an der hohen Lichtbrechung leicht erkannt werden kann. Zwischen gekreuzten Nicols bleibt der Muskovit vielfach dunkel, da die Blättchen sehr dünn sind. Ob es sich immer um gewöhnlichen Muskovit oder z. T. um Sericit handelt, läßt sich nicht entscheiden. Wahrscheinlich ist in den feineren Anteilen Sericit in größerer Menge vorhanden. Die Blättchen sind teilweise sehr gut gerundet, meist aber unregelmäßig begrenzt und immer farblos. Bei konoskopischer Untersuchung ließ sich nur selten ein Achsenbild beobachten. Winzig kleine Einschlüsse, die in einzelnen Blättchen vorkamen, waren nicht sicher zu identifizieren.

Biotit ist in geringerer Menge als Muskovit vorhanden. Der für dieses Mineral typische Pleochroismus ist nicht zu beobachten, da die Blättchen immer nach {oor} orientiert sind. Die Umgrenzung ist meist unregelmäßig, nicht selten sind gut gerundete Blättchen. Die Farbe ist gewöhnlich dunkelbraun, daneben treten ganz hellgelbe Blättchen auf, die wahrscheinlich baueritisiert sind. Auch gebleichte Ränder kann man manchmal beobachten. Die Biotite enthalten Einschlüsse in Form von winzigen opaken Körnchen.

Chlorit. Die grünen und gelblichgrünen Blättchen sind meist länglich und gut gerundet. Pleochroismus ist deutlich wahrzunehmen (hellgelblichgrün und dunkelgrün).

Glaukonit kommt in vereinzelt Körnern mit kugelig oder ellipsoidischer Gestalt vor. Farbe ist dunkelgrün mit etwas gelblich. Pleochroismus fehlt, ebenso Doppelbrechung.

Limonit bildet manchmal Krusten auf anderen Mineralkörnern, besonders von Quarz.

b) Quantitative Untersuchungen der Fraktionen der Durchschnittsprobe.

Das Auszählen der Mineralkörner erfolgte in Dauerpräparaten (Kanadabalsam). Von jeder Fraktion wurden 2—3 Präparate angefertigt. Außerdem wurden die Proben untersucht, nachdem der Kalkspat durch Essigsäure herausgelöst worden war. Die Auszählung erstreckte sich bei jeder Fraktion auf 800—900 Körner, um eine genügende Genauigkeit zu erreichen. Es wurde hierbei die Blickfeldauszählung angewendet, während bei den Schwermineralien manchmal die Linienauszählung geeigneter ist.

Nach der Behandlung mit Essigsäure zeigte sich, daß ein kleiner Teil der Karbonate nicht gelöst war. Durch Auszählen dieser Körner konnte der nicht zum Kalkspat gehörige Teil der Karbonate ermittelt werden. Beachtenswert ist, daß dieses in Säure unlösliche Karbonat (nach der Lichtbrechung Dolomit und Braunspat) hauptsächlich in der Fraktion 50—20 μ auftritt (Tabelle 17, S. 102).

Die quantitative Bestimmung des Feldspats war nicht ohne Schwierigkeiten durchzuführen, da er z. T. dem Oligoklas-Andesin angehört, klar durchsichtig ist und beim Fehlen von Zwillingseriefung schwer oder überhaupt nicht vom Quarz zu unterscheiden ist (höchstens mit Hilfe des Achsenbildes). Dies traf besonders für den Feldspat der kleinen Korngrößen zu. Wie wenig Feldspat mit Zwillingseriefung vorhanden ist, erhellt aus folgender Zusammenstellung.

Tabelle 15.

	100—50 μ	50—20 μ
Ausgezählte Körner	825	868
Davon Feldspäte	85	115
Plagioklas mit Zwillingseriefung	6	5

Noch seltener ist Mikroklin; etwa auf 100 Feldspatkörner kommt ein Mikroklinkorn.

Zur Bestimmung der Feldspäte wurde noch eine mechanische Trennung mit Hilfe von Bromoform durchgeführt. Zunächst wurde Bromoform auf die Dichte von 2,6 gebracht und damit 3 g der Fraktion 50—20 μ behandelt. Der leichte Anteil betrug 8,2%. Der schwere Anteil dieser Fraktion kam dann in Bromoform der Dichte 2,64. Der damit abgetrennte leichte Anteil betrug 15,3% (bezogen auf die ursprüngliche Einwaage). Die mechanischen Trennungen ergaben also: 8,2% Orthoklas und 15,3% Plagioklas, zusammen 23,5% Feldspat, während der mikroskopisch ermittelte Wert erheblich niedriger liegt.

Auch die Fraktion 100—50 μ wurde in der gleichen Weise untersucht; ihr Feldspatgehalt beträgt 31,42%. Bei 20—2 μ ergab sich 15,9% Feldspat.

Da die verschiedenen Bestimmungen der Feldspatgehalte so abweichende Ergebnisse gebracht hatten, mußte zunächst nachgeprüft werden, ob der abgetrennte Anteil auch wirklich Feldspat war. Wie E. Engelhardt [18] in seiner Jenaer Dissertation gezeigt hat, leuchten die Feldspäte im ultravioletten Licht auf, während der reine Quarz dunkel bleibt.

Tabelle 16.

Lumineszenz der Feldspäte (nach Engelhardt).

Name	Fundort	Lumineszenzfarbe
Orthoklas	Striegau	schwach gelbweiß
Mikroclin	Pikes Peak	graublau
Albit	Tirol	mittelstark gelbgrün
Oligoklas	Stockholm	stark grauweiß
„	Ytterby	stark blauweiß u. grünweiß
Andesin	St. Raphael	stark grünweiß
Anorthit	Monzoni	stark hellblau

Die mit Bromoform abgetrennten Anteile der Fraktionen 100 bis 50 μ und 50—20 μ wurden mit dem Lumineszenzmikroskop der Fa. Carl Zeiss untersucht. Alle Teilchen leuchteten mehr oder weniger grauweiß bis grünlichweiß, woraus man schließen kann, daß wir es nur mit Feldspat zu tun haben.

Es blieb nun noch die Frage zu beantworten, ob noch Feldspat in den schweren Anteilen vorhanden ist, der also ungefähr das spezifische Gewicht des Quarzes hat. Obwohl chemische Untersuchungen (Alkalibestimmungen, Borfluorwasserstoffsäure) zeigten, daß dies nicht der Fall sein kann, wurden noch Anfärbeversuche mit Methylviolett vorgenommen [4; 79]: 0,1 g Methylviolett auf 100 ccm Wasser, 5 Minuten Einwirkung, dann gut mit Wasser auswaschen. Es wurde der Anteil $d > 2,64$ der Fraktion 50—20 μ benutzt, da hier genügend Substanz vorlag. Beim ersten Versuch ließen sich alle Mineralkörner intensiv blau färben, da die Quarzkörner von einer fest anhaftenden Tonhaut umhüllt waren. Auch die Behandlung mit verdünnter Salzsäure änderte nicht viel. Erst nach längerem Kochen wurde der Ton weitgehend, aber auch nicht vollständig entfernt, so daß nach dem Anfärben die Quarze noch schwach blau erschienen, meist mit fleckiger Verteilung des Farbstoffs. Außer den stark gefärbten Glimmern waren andere anfärbbare Mineralkörner kaum vorhanden, so daß wiederum geschlossen werden kann, daß mit Bromoform ($d = 2,64$) praktisch aller Feldspat abgetrennt worden war.

Von den Glimmern ist der Muskovit bei weitem vorherrschend. Die Hauptmenge des Glimmers findet sich in der Fraktion 20—2 μ . Dabei muß allerdings bemerkt werden, daß ein großer Teil der Glimmerblättchen der Größe nach nicht in diese Fraktion gehört, da sie wegen der dünnblättrigen Ausbildung länger in der Schwebe bleiben und daher in die kleinere Fraktion gelangen. Das einfache Auszählen gibt daher kein richtiges Bild über die Beteiligung des Glimmers am Aufbau der Fraktion 20—2 μ .

Der Mineralbestand der einzelnen Fraktionen ist in Tabelle 17 zusammengestellt. Die nicht aufgeführten Mineralien (Opak, Chlorit, Glaukonit, Schwermineralien und Unbestimmt) machen in jeder Fraktion etwa 5% aus. In der Korngrößengruppe 50—20 μ sind Chlorit und Glaukonit zusammen zu etwa 2% vorhanden. Der Mineralbestand der Tonfraktion ist röntgenographisch ermittelt worden.

Tabelle 17.

Teilchen- durchmesser	Mineralbestand ¹⁾				
	Quarz	Feldspat	Kalkspat	Dolomit usw.	Glimmer
	%	%	%	%	%
0,1 — 0,05 mm	54,6 (72)	31,4 (14)	7,5	—	1,5
0,05 — 0,02 „	54,5 (65)	23,5 (13)	8,5	6	3,0
0,02 — 0,002 „	35,1 (43)	15,9 (8)	17,0	2	25,0 ²⁾
< 0,002 „	10 \pm 5	< 10	11,5	—	25

2. Röntgenographische Untersuchung der Tonfraktion.

Der Anteil der Tonfraktion (kleiner als 2 μ) an der Zusammensetzung des Derenburger Lößes ist zwar mengenmäßig gering (6,9%), dennoch spielt diese Korngrößeklasse wegen der hierin reichlich vorhandenen adsorptionsfähigen Mineralien eine große Rolle. Da die mikroskopische Untersuchung bestenfalls nur bis etwa 2 μ herunter möglich ist, wurden neben den später beschriebenen chemischen und kolloidchemischen Untersuchungen röntgenographische vorgenommen, um den Mineralbestand dieser Fraktion zu ermitteln. Die Aufnahmebedingungen waren folgende: Stäbchendurchmesser 0,7 mm, Kupfer-K α -Strahlung, Belichtungszeit 4 Stunden bei 31 KV, 7 MA. Benutzt

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen für Feldspat und Quarz beziehen sich auf die optische Bestimmung. Die anderen Werte für Feldspat sind durch mechanische Abtrennung erhalten worden. Daraus ist dann unter Zugrundelegung der optisch ermittelten Summe von (Quarz + Feldspat) der Quarzgehalt ermittelt worden.

²⁾ Einschließlich Montmorillonit.

wurde die nach Atterberg erhaltene Fraktion, von der mit dem Debye-Scherrer-Verfahren mehrere Aufnahmen hergestellt wurden. Die Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18.

Debye-Scherrer-Aufnahme der Tonfraktion vom Derenburger Löß

Nr.	Intensität	2 d (korr.) mm	log sin α	Zuordnung zu					
				Å	Quarz	Kalkspat	Glimmer	Montmorillonit	Feldspat
1	md	20,1	9,24181—10	4,41	—	—	st	m	—
2	md	21,3	,26672	4,17	st	—	—	—	m?
3	s	25,1	,33704	3,54	—	—	?	—	—
4	s	26,6	,36182	3,35	—	m	—	—	—
5	st	27,1	,36976	3,29	sst	—	st	—	sst?
6	ms	29,9	,41158	2,99	—	—	ms	mst	mst?
7	s	31,3	,43098	2,85	—	—	m	—	ms?
8	st	34,8	,47573	2,58	—	—	st	sst	m?
9	ss	39,5	,52881	2,28	m	—	—	—	—
10	ss	42,5	,55923	2,12	m	—	m	—	—
11	ss	45,3	,58557	2,00	m	—	m	—	—
12	ss	48,5	,61354	1,88	—	st	—	—	—
13	s	51,1	,63478	1,79	st	—	s	s	st?
14	md	55,2	,66586	1,66	m	—	st	m	—
15	s	61,3	,70739	1,51	st	—	—	—	—
16	st	62,8	,71685	1,48	—	—	st	sst	ms?
17	s	65,1	,73081	1,43	s	—	—	—	ms?
18	st	68,9	,75258	1,36	st	—	m	mst	—
19	ms	73,8	,77846	1,28	ms	—	m	s	ms?
20	s	81,1	,81299	1,18	m	—	s	—	—
21	s	84,8	,82885	1,14	s	—	—	s	—
22	s	95,8	,87039	1,04	s	—	—	s	—
23	s	99,5	,88266	1,01	s	—	—	s	—

Anm.: sst = sehr stark, st = stark, mst = mittel bis stark, m = mittel, ms = mittel bis schwach, s = schwach, ss = sehr schwach. Bei der Zuordnung sind die Intensitäten angegeben, wie sie in den Standardaufnahmen der betr. Mineralien auftreten. Die schwache Interferenz bei 3,54 Å kann auch dem Kaolin und Metahalloysit zugeordnet werden. α = Glanzwinkel.

Zunächst mußte nachgeprüft werden, welchen Mineralien die errechneten Å-Werte zuzuordnen sind. Außer den schon in den größeren Fraktionen mikroskopisch ermittelten Mineralien Quarz, Feldspat, Glimmer und Kalkspat waren noch ein oder mehrere Tonmineralien zu erwarten.

Quarz ließ sich an den Interferenzen 2,28 Å und 1,51 Å, die nicht mit Linien anderer Mineralien zusammenfallen, eindeutig

nachweisen. Die Anwesenheit von Kalkspat kommt durch die Interferenzen $3,54 \text{ \AA}$ und $1,88 \text{ \AA}$ zum Ausdruck. Ob Feldspat vorhanden ist, läßt sich nicht sicher sagen, da alle wichtigen Interferenzen mit denen anderer Mineralien zusammenfallen. Aus dem Diagramm kann man nur schließen, daß größere Mengen an Feldspat (etwa mehr als 20%) nicht auftreten, denn sonst müßte $3,77 \text{ \AA}$ m festzustellen sein. Die sehr starke Interferenz $3,27 \text{ \AA}$ fällt leider mit starken Linien von Quarz und Glimmer zusammen. Dagegen kann Glimmer wegen des Auftretens der Interferenz $3,51 \text{ \AA}$ ms vorhanden sein; sonst ist hier der Nachweis wegen Überlagerung mit anderen wichtigen Interferenzen leider erschwert. Groß kann der Anteil des Glimmers am Aufbau der Tonfraktion allerdings nicht sein, da die Linien $2,84 \text{ \AA}$ m, $2,38 \text{ \AA}$ ms und $1,25 \text{ \AA}$ ms fehlen.

Eigentliche Tonminerale sind: Kaolin, Halloysit, Metahalloysit und Montmorillonit. Davon scheidet im vorliegenden Falle Kaolin wegen des Fehlens der Interferenzen $2,50 \text{ \AA}$ st und $2,35 \text{ \AA}$ st in größeren Mengen aus. Gegen das Vorhandensein größerer Mengen von Halloysit spricht das Fehlen von $3,40 \text{ \AA}$ m, $2,37 \text{ \AA}$ ms und $2,33 \text{ \AA}$ ms. Dagegen wäre eine geringe Beteiligung von Metahalloysit nicht von der Hand zu weisen, wenn man die Interferenz $3,54 \text{ \AA}$ nicht dem Glimmer zuordnen will. Da jedoch die bei etwa 7 \AA auftretende Interferenz des Metahalloysits (und auch des Kaolins!) fehlt, werden also die genannten Tonminerale kaum vorhanden sein.

Es bleibt nun noch der Montmorillonit übrig, dessen Nachweisbarkeit bei gleichzeitiger Anwesenheit von Glimmer nicht leicht ist, zumal die innerste Interferenz, die bei etwa 14 \AA liegt, fehlt. Daß dieses Mineral jedoch in größerer Menge vorhanden sein muß, geht aus dem Auftreten der Interferenzen $1,14 \text{ \AA}$ s und $1,04 \text{ \AA}$ s hervor; diese Interferenzen fallen zwar mit schwachen Quarzlinien zusammen, da aber die starke Quarzlinie $1,51 \text{ \AA}$ im vorliegenden Falle sehr geschwächt ist, sind an sich schwache Quarzlinien nicht zu erwarten. Die festgestellten schwachen Linien müssen also fast ausschließlich durch Montmorillonit bedingt sein.

Nicht ausgeschlossen ist, daß in der Tonfraktion auch wasserhaltiges Aluminiumoxyd vorkommt (Diaspor, Hydrargillit oder Beauzit), da bei dem hohen Karbonatgehalt die vorhandenen Bodenlösungen alkalisch reagierten. Von diesen kommt Diaspor nicht in Betracht, da die stärkste Linie $3,98 \text{ \AA}$ fehlt. Auch Böhmit dürfte nicht zugegen sein. Dagegen könnte man aus der Interferenz $4,70 \text{ \AA}$ auf eine geringe Beteiligung von Hydrargillit schließen. Es ist aber wohl richtiger, diese Linie dem Glimmer zuzuweisen, zumal auch bei $9,1 \text{ \AA}$ eine schwache (nicht in der Tabelle 18 verzeichnete) Inter-

ferenz auftritt, die von Glimmer herrührt. Nach dem Gesagten scheint freies Aluminiumoxydhydrat nicht vorhanden zu sein.

Sicher haben sich also Quarz, Kalkspat, Glimmer und Montmorillonit röntgenographisch nachweisen lassen. Die Zuordnung der Interferenzen erfolgte z. T. auf Grund von eigenen Standardaufnahmen, z. T. wurden die von Nagelschmidt [60] und Mehmel [56a] veröffentlichten Daten benutzt. Fraglich ist das Vorkommen von Feldspat; da dieser in den gröberen Fraktionen in erheblicher Menge auftritt (und zwar als schwer zersetzbarer Alkalifeldspat), könnte er auch in der Tonfraktion vorhanden sein.

Anschließend wurde versucht, den Mineralbestand der Tonfraktion quantitativ zu bestimmen. Während schon die qualitative Bestimmung des Mineralbestandes mitunter subjektiv beeinflusst ist, treten bei der quantitativen Auswertung der Röntgenaufnahmen diese Einflüsse noch viel stärker hervor. Zunächst gehen die Angaben, in welcher Menge ein Mineral vorhanden sein muß, um sich im Röntgendiagramm bemerkbar zu machen, noch weit auseinander. Zweifellos spielt hierbei auch die Frage eine Rolle, welche Mineralien in einem Gemenge vorhanden und wie sie miteinander verbunden sind. Nehmen wir z. B. an, daß der Quarz vollkommen von Kalkspatkrusten umhüllt ist, so wird seine Beteiligung geringer erscheinen, als wenn die Teilchen ohne Hüllen auftreten. Weiter ist zu bedenken, daß der Quarz ein weit besseres Reflexionsvermögen besitzt als die Tonmineralien. Nach unseren bisherigen Erfahrungen ist ein Tonmineral erst dann im Diagramm sicher nachweisbar, wenn es mindestens 20% des Gemenges ausmacht [39]¹⁾. Das Ideal wäre, wenn man von allen möglichen Mineralgemengen Standardaufnahmen hätte. Diese umfangreiche Vorarbeit ist aber nur dann lohnend, wenn man laufend derartige Untersuchungen vorzunehmen hat. Im vorliegenden Falle wurde durch sorgfältigen Vergleich der Intensitäten der quantitative Mineralbestand zu erfassen versucht. Die erhaltenen Werte wurden später durch chemische und kolloidchemische Untersuchungen überprüft. Aus allem ergibt sich, daß amorphe Substanzen (abgesehen von kolloidalem Eisenhydroxyd) höchstwahrscheinlich nicht vorhanden sind.

1. Quarz. Daß dieses Mineral nur in geringer Menge vorhanden sein kann, ergibt sich daraus, daß die starke Linie 1,51 Å nur schwach auftritt, und daß entsprechend 2,28 Å m nur als sehr schwache Interferenz erscheint. Da der Quarz ein verhältnismäßig gutes Reflexionsvermögen besitzt, geht aus der starken Intensitätsverringerung der betr. Linien die geringe Beteiligung dieses Minerals hervor. Um zu

¹⁾ Bei Quarz dagegen liegt die Nachweisbarkeitsgrenze bei 5—10% [56].

einer genauen Angabe über den Prozentgehalt zu kommen, wurden die Untersuchungsergebnisse von Nagelschmidt [60] berücksichtigt. Nagelschmidt fand, daß in einem Gemenge von etwa 40% Quarz, 20—25% Muskovit und 10—15% Kalkspat bei den Korngrößen 5—30 μ die Quarzlinien überwiegend die stärksten sind. Es handelte sich hierbei um den marinen mitteloligocänen Ton von Malliß im südlichen Mecklenburg. In der Fraktion 1—5 μ dieses Tones waren bei einem Gehalt von 30% Quarz die mittleren und schwachen Quarzlinien noch deutlich zu beobachten. Da nun bei der Derenburger Tonfraktion die schwachen Quarzlinien nicht mehr auftreten, muß man schließen, daß der Quarzgehalt weniger als 30% beträgt. Weiter schreibt Nagelschmidt, daß in der Fraktion 1—0,05 μ die mittleren Quarzlinien nur eben noch erkennbar sind bei einem nach der Analyse errechneten Quarzgehalt von 17,3%. Nun ist zwar der errechnete Quarzgehalt nicht ganz zuverlässig. Man wird jedoch keinen großen Fehler begehen, wenn man den Quarzgehalt der Derenburger Tonfraktion mit $10 \pm 5\%$ ansetzt.

2. Kalkspat. Aus dem in einer besonderen Probe bestimmten CO_2 -Gehalt ergab sich für die Tonfraktion ein Gehalt von 11,5%. Allerdings ist hierbei nicht berücksichtigt, daß ein kleiner Teil der Kohlensäure an Dolomit gebunden sein kann. Der Fehler, wenn er überhaupt vorhanden ist, dürfte belanglos sein. Der geringen Kalkspatmenge entspricht es, daß die starke Kalkspatlinie 1,88 Å nur ganz schwach auftritt, und daß auch 2,35 Å nur schwach zu beobachten ist. Die von Nagelschmidt (l. c. S. 139) untersuchte Fraktion 1—0,05 μ enthielt ebenfalls 10—15% CaCO_3 . Es ist daher merkwürdig, daß bei Nagelschmidt die starke 3,03 Å-Linie des Kalkspats auch im Diagramm stark und ohne Überlagerung auftritt. Geht man dieser Beobachtung weiter nach, so zeigt es sich, daß diese Linie nicht nur dem Kalkspat, sondern auch dem Montmorillonit und dem Glimmer zukommt (vielleicht sogar auch dem Feldspat); es ist daher nicht verwunderlich, daß auch bei dem geringen Kalkspatgehalt diese Linie mit starker Intensität erscheint. Daß die Linie 3,40 Å für Kalkspat bei Nagelschmidt nicht vermerkt ist, liegt vielleicht daran, daß dort weniger Kalkspat vorhanden ist, als sich nach der Rechnung ergibt. Nach den erwähnten Beobachtungen hat man den Eindruck, daß die unterste Grenze der Nachweisbarkeit für Kalkspat bei etwa 10% liegt.

3. Glimmer. Ist schon der qualitative Nachweis des Glimmers mit Schwierigkeiten verbunden, so sind diese bei der quantitativen Auswertung der Röntgendiagramme erheblich größer, besonders, wenn der Anteil des Glimmers nicht hoch ist. Dann ist es auch nicht möglich, Biotit neben Muskovit zu erkennen und zu bestimmen. Über

50% kann der Anteil des Glimmers in der Derenburger Tonfraktion nicht betragen, da die Linien 2,84 m, 2,38 ms und 1,25 ms fehlen. Vielmehr scheint die Menge des Glimmers nicht weit von der Grenze der Nachweisbarkeit zu liegen, was sich aus den Linien 9, 10 und 11 der Tabelle 18 ergibt. Die mittelstarke Linie 9 (2,28 Å des Quarzes) tritt wegen des geringen Quarzgehaltes nur mit sehr schwacher Intensität auf; die mittelstarken Linien 10 und 11 treten ebenfalls nur sehr schwach auf, obwohl sie nicht nur dem Quarz, sondern auch dem Glimmer entsprechen. Der Glimmergehalt wird daher wohl richtig mit $25 \pm 5\%$ anzusetzen sein.

4. Feldspat. Alle wichtigen Interferenzen des Feldspats werden von denen anderer Mineralien überlagert, so daß sogar der qualitative Nachweis nicht möglich ist. Der Vergleich der Intensitäten spricht nicht gegen die Beteiligung von Feldspat; mehr als 10% dürften auch schon deshalb nicht vorhanden sein, da in der Schluffraktion nur 16% festgestellt worden sind und der Feldspatgehalt nach kleineren Korngrößen zu erfahrungsgemäß schnell abnimmt.

5. Montmorillonit. Als Differenzwert ergibt sich für dieses Mineral 40—50%. Daß dieses Mineral in erheblicher Menge zugegen sein muß, ergibt sich aus den schwachen Linien 21, 22 und 23, die nur von schwachen Quarzlinien überlagert sein könnten, was jedoch wegen der geringen Menge des Quarzes nicht in Betracht kommt.

Die röntgenographische Untersuchung der Tonfraktion hat also ergeben: Quarz $10 \pm 5\%$, Kalkspat 11,5%, Glimmer $25 \pm 5\%$, Montmorillonit 40—50%, Feldspat $< 10\%$.

Interessant ist, daß eine von Favejee [24] untersuchte holländische Walkerde etwa die gleiche Zusammensetzung wie unsere Tonfraktion hat (Quarz 10—12%, Kaolin Spur, Muskovit 25—28%, Montmorillonit 42—50%).

3. Elektronenmikroskopische Untersuchung der Tonfraktion.

Die übermikroskopischen Untersuchungen mit Elektronenstrahlen wurden durch das Entgegenkommen der Fa. Carl Zeiss, die ihre Apparatur zur Verfügung stellte, ermöglicht¹⁾. Benutzt wurde ein Siemens-Übermikroskop (Durchstrahlungsmikroskop mit magnetischen Linsen). Der Strahlengang entspricht dem des Lichtmikroskops für photographische Zwecke.

Die Vorbereitung der Proben ging in der Weise vor sich, daß ein Teil der Atterberg-Fraktion $< 2 \mu$ in ein Gläschen mit eingeschliffenem Stopfen gebracht und mit dest. Wasser aufgeschüttelt wurde. Dem dest. Wasser war so viel Ammoniak zugegeben worden, daß eine 0,01 n-NH₃-Lösung vorlag. Um

¹⁾ Herrn Dr. F. Michel und Frau B. v. Ekesparre vom Mikrolabor. der Fa. Zeiss möchte ich auch an dieser Stelle für ihre Bemühungen bestens danken.

das Verhalten des Kalkspats im Übermikroskop zu erkennen, wurde auch eine Probe vor der Untersuchung mit verdünnter Salzsäure behandelt. Ein Tropfen der Aufschlämmung wurde mit einer Platinöse auf einen Kollodiumfilm gebracht und staubfrei verdunstet.

Eine sichere Unterscheidung und Bestimmung der einzelnen Bestandteile in einem Mineralgemenge ist zur Zeit noch nicht möglich, da man im Übermikroskop nur die Form und Größe der Teilchen bestimmen kann. Wenn also

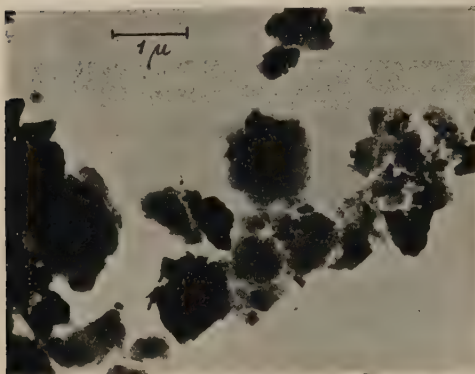


Abb. 15.

ein Teilchen mit hexagonalem Umriß vorliegt, so kann es sich um ein hexagonales oder pseudo-hexagonales Mineral (Glimmer, Kaolin usw.) handeln. Im vorliegenden Falle müssen wir mit vier Mineralarten rechnen (Montmorillonit, Glimmer, Quarz, Kalkspat); vielleicht kommt als fünftes der Feldspat hinzu.

Aus einer größeren Anzahl von Aufnahmen wurden einige typische ausgewählt (Abb. 15—21). Schon die Übersichtsaufnahme bei 10000facher

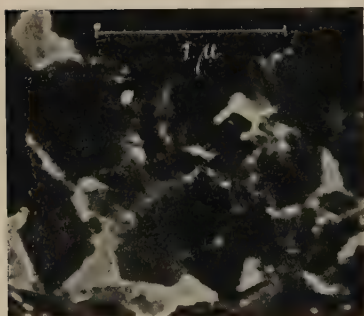


Abb. 16.

Vergrößerung läßt erkennen, daß die Teilchen verhältnismäßig groß sind. Das stimmt mit dem Ergebnis der mechanischen Analyse überein, wonach in der Tonfraktion 94,2% der Teilchen zwischen 2 und 0,2 μ liegen; nur 5,8% liegen unter 0,2 μ . Kalkspat kommt in Form von Rhomboedern vor (Abb. 16). Scharf begrenzte hexagonale Umrisse, die auf Glimmer hindeuten, treten selten auf (Abb. 17).

Etwa die Hälfte der Tonfraktion besteht aus unregelmäßig begrenzten, fast oder vollkommen für die Elektronenstrahlen undurchlässigen Teilchen (Abb. 18—21). Am Rande sind die Teilchen häufig aufgehellet, korrodiert oder aufgespalten. Daneben findet man fast ebenso häufig grau aussehende Teilchen mit stark korrodiert Oberfläche und stark aufgelöstem Rande. Bei diesen dürfte es sich wohl um Glimmer handeln, der weitgehend umgewandelt worden ist (Umwandlung in Montmorillonit?). Durch Integrieren verschiedener Aufnahmen wurde das Verhältnis von schwarzen zu grauen Teilchen etwa wie 1:1 ge-

funden. Auf Grund der chemischen und röntgenographischen Analyse ist jedoch viel weniger Glimmer vorhanden, und daher muß ein erheblicher Teil des umgewandelten Glimmers sich wie Montmorillonit verhalten. Darauf wird noch bei den kolloidchemischen

Untersuchungen eingegangen werden. Ob die dunklen Teilchen alle Montmorillonit sind, ist nicht sicher zu sagen. So scheint es sich bei dem in Abb. 20 unten dargestellten Teilchen um ein Glimmerblättchen zu handeln, das senkrecht zur Basis liegt. Für die Elektronenstrahlen ist es nicht gleichgültig, ob das Glimmerteilchen parallel oder senkrecht zur Basis liegt. Im zweiten Falle ist die Dicke der Schicht und damit die Absorption der Elektronen erheblich größer. Quarz ließ sich nicht einwandfrei feststellen. Auf Grund von Berechnungen hat sich ja eine geringe Menge ergeben, die sich der Beobachtung entziehen dürfte.

Da die elektromikroskopische Forschung noch in den Anfängen steckt, könnten im vorliegenden Falle die Feststellungen nur mit der größten Vorsicht getroffen werden. Alles in allem läßt sich aber sagen, daß die übermikroskopischen Beobachtungen nicht dem widersprechen, was mit anderen Methoden festgestellt oder vermutet worden war. Vor allem zeigen die Tonteilchen eine starke Korrosion

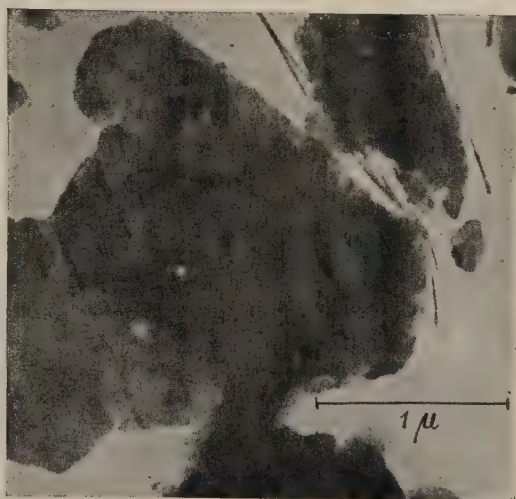


Abb. 17.

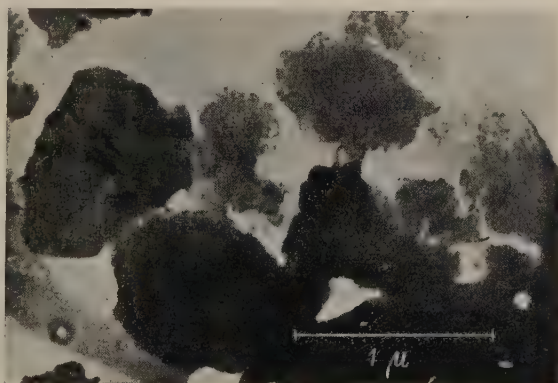


Abb. 18.

und Zerklüftung, was für ihr Adsorptionsvermögen von größter Bedeutung ist.

4. Schwermineralien.

a) Qualitative Untersuchungen.

Diese Mineralien wurden hauptsächlich in den mit Bromoform abgetrennten Anteilen untersucht, nachdem sie in Kanadabalsam eingebettet worden waren. Auch die Präparate der einzelnen Fraktionen, in denen die Leichtmineralien ausgezählt worden waren, wurden z. T. mit herangezogen. Im allgemeinen war die Erkennung der einzelnen Schwermineralien in diesen Dauerpräparaten sicher durchzuführen, nur in einzelnen Fällen mußte das Pulver in

Flüssigkeiten verschiedener Lichtbrechung eingebettet werden. Nachstehend werden die Schwermineralien kurz beschrieben, und zwar in der Reihenfolge abnehmender Häufigkeit.

Erz. Am häufigsten unter den Schwermineralien sind opake Erzkörner, die meist unregelmäßig begrenzt oder mehr oder weniger stark gerundet sind;

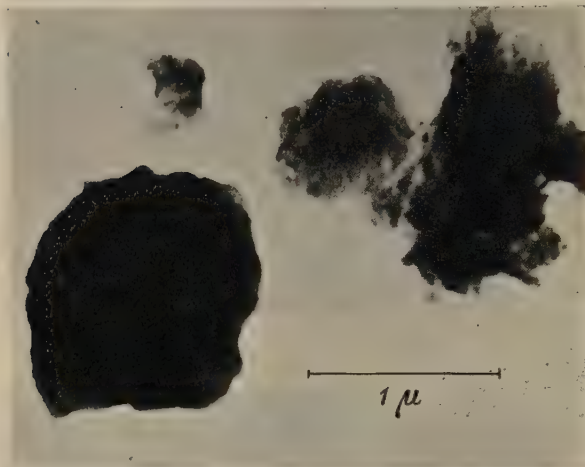


Abb. 19.

gerundet sind; sie sind im Durchschnitt 30—40 μ groß. Zum Teil sind die Körner plattenförmig ausgebildet mit teilweise sechsseitigem Umriß. Manche Körner sind schwach durchscheinend und zeigen dabei dunkelrote oder grüne Farbe. Magnetit scheint unter diesen Erzkörnern sehr selten zu sein; das zeigte sich daran, daß das Verhältnis von opaken zu durchsichtigen Teilchen gleich blieb, gleichgültig ob die Proben mit Salzsäure behandelt worden waren oder nicht. Dagegen scheint Ilmenit in reichlicher Menge vorhanden zu sein. Aber auch freies TiO_2 muß in erheblicher Menge zugegen sein. Zwei Proben des Schwermineralanteils wurden nämlich auf Titan untersucht und ergaben im Durchschnitt 21,7% TiO_2 . Da das Auszählen der Schwermineralien im Durchschnitt 28% opake Mineralien ergab, bleibt nach Verrechnung des Titans auf Ilmenit immer noch ein Überschuß von TiO_2 . Dieser kann im Ilmenit stecken, denn es gibt Vorkommen, die mehr TiO_2 enthalten, als der Formel FeTiO_3 entspricht. Es ist aber auch möglich, daß die überschüssige

Titansäure in Form von eisenhaltigem, opakem Rutil (Nigrin) oder Brookit vorliegt.

Da spektralanalytisch Chrom nachgewiesen worden ist, kann unter den opaken Körnern auch etwas Chromit vorhanden sein.

Epidot. Dieses Mineral kommt gewöhnlich in länglichen oder rundlichen Spaltblättchen nach $\{001\}$ vor; der Austritt einer optischen Achse ließ sich verschiedentlich gut beobachten, nur ausnahmsweise die unvollkommene Spaltbarkeit nach $\{100\}$. Vielfach waren die Körnchen scharf splitterig und unregelmäßig begrenzt; sie zeigten dann nach innen zunehmende Interferenzfarben, wie sie bei Quarz häufig vorkommen. Kräftige gelblichgrüne oder gelbliche Farbtöne waren selten zu beobachten. Meist waren die Epidotkörner sehr blaß oder farblos. Der Pleochroismus war nur an den kräftiger gefärbten Körnchen sichtbar (hellgelblichgrün und farblos). Da die nichtpleochroitischen Körner vielfach schwache Doppelbrechung zeigten, müssen diese zum Klinoisit gestellt werden. Mit Strahlstein war eine Verwechslung nicht möglich, da die Lage der Achsenebene verschieden ist. Einschlüsse wurden selten beobachtet (winzige schwarze Körnchen und farblose Nadelchen).

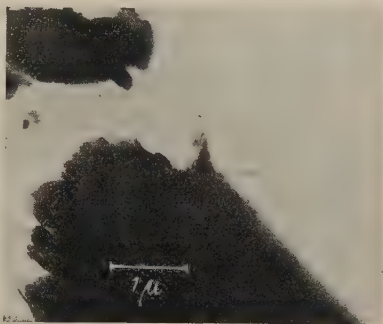


Abb. 20.



Abb. 21.

Anschließend sei der Zoisit aufgeführt, obwohl er an Menge weit hinter Epidot zurücksteht. Er tritt in farblosen Stengeln auf, die sich durch ihre hohe Licht- und schwache Doppelbrechung sowie gerade Auslöschung leicht erkennen lassen. Querabsonderung und lavendelblaue Polarisationsfarben sind nicht selten zu beobachten.

Klinoisit hat sich nicht mit Sicherheit nachweisen lassen.

Hornblende. Neben Epidot ist die Hornblende ein wichtiger Bestandteil der Schwermineralfraktion. Es handelt sich ausschließlich um die grüne Hornblende, die sowohl in kurz- bis langsäuligen Gebilden als auch in unregelmäßigen Körnern auftritt. Man findet die Hornblende fast immer in scharf begrenzten Stücken, was durch

die ausgezeichnete prismatische Spaltbarkeit bedingt ist. Daneben sind gut gerundete Körner nicht selten anzutreffen. Pleochroismus: α' = gelblichgrün, γ' = bläulichgrün. Als Mittelwert für die Auslöschung wurde gefunden: 16° . Manche Hornblenden sind sehr blaßgrün oder farblos und daher zu den Aktinolithen zu rechnen. Einschlüsse kommen im allgemeinen in den Hornblenden nicht vor, ebenso scheint eine Chloritisierung nicht vorzuliegen.

Wahrscheinlich ist auch Augit zugegen, allerdings nur in vereinzelten Körnern. Da diese nicht säulig ausgebildet sind, ist die Bestimmung der Auslöschungsschiefe schwierig. Dagegen ließ sich der Hypersthen einige Male bestimmen (Pleochroismus grün und braunrot).

Zirkon. Durch seine starke Licht- und Doppelbrechung ist dieses Mineral sehr leicht zu erkennen. Im allgemeinen sind die Zirkonkriställchen wesentlich kleiner als die übrigen Schwermineralien, was durch genetische Umstände und nicht durch den Transport bedingt ist. Oft findet man Kriställchen mit tadellos ausgebildeten Flächen; mehrere Pyramiden- und Prismenflächen sind vorhanden, Endflächen scheinen nicht vorzukommen. Diese Kriställchen sind nur wenig oder gar nicht gerundet. An manchen dieser gut ausgebildeten Kriställchen war ein zonarer Aufbau zu beobachten. Der Habitus der Kristalle ist sehr verschieden. Meist findet man einen gedrungenen, kurzsäuligen Habitus, seltener sind langgestreckte und nadelförmige Kristalle. Sehr häufig sind mehr oder weniger gerundete Körner und unregelmäßige Splitter vorhanden. Ob die Abrundung allein durch den Transport bedingt ist, scheint sehr fraglich, da bekanntlich stark abgerundete Zirkonkörner in kristallinen Schiefen vorkommen können. Meist sind die Zirkone farblos und klar durchsichtig; hin und wieder sind ganz schwach rosafarbene Zirkone anzutreffen. Einschlüsse treten in Form von winzigen, opaken Körnchen auf. Einmal wurde ein großer Zirkon (0,25 mm lang, 0,05 mm breit) gefunden, der reihenförmig, parallel nach der Basis angeordnete strichförmige Einschlüsse aufwies. Vermutlich handelt es sich um Ilmenitfädelchen, die nach {001} orientiert sind.

Granat. Auch der Granat ist ein wichtiger Bestandteil der Schwermineralfraktion. Er wird sofort an der hohen Lichtbrechung und der Isotropie erkannt. Granate mit anomaler Doppelbrechung wurden nicht beobachtet. Einmal wurde ein scharf ausgebildetes Rhombendodekaeder gefunden. Ferner wurde auf einer gut ausgebildeten Fläche eines Granatkorns eine Reihe von Riefungen beobachtet (Dekreszenz). Meist aber erscheint der Granat in unregelmäßig begrenzten Splintern, an denen man häufig den ausgezeichnet muscheligen Bruch feststellen kann. Gerundete Umriss sind selten.

Die Oberfläche der Körnchen weist häufig Vertiefungen auf, die durch Absplittern kleiner Teilchen entstanden sind. Die Größe der Granate entspricht etwa der der opaken Teilchen (30—40 μ); der größte war 0,2 mm lang und 0,1 mm breit. Die Granatkörner sind z. T. farblos, z. T. schwach rosa gefärbt (manchmal mit Stich ins Braune). Mittels Clerici-Lösung wurde ein Teil der Schwermineralfraktion in zwei Anteile zerlegt (größer und kleiner 3,76): Granat war in beiden Anteilen festzustellen. Danach dürfte sowohl Almandin (vielleicht auch Spessartin) als auch Kalkton- und Magnesiatongranat vorhanden sein. Einschlüsse sind naturgemäß beim Granat, der in den kristallinen Schiefern meist in Form von Porphyroblasten auftritt, ziemlich häufig, wenn auch ein großer Teil der Granatkörner völlig frei davon ist. Als Einschlüsse waren vorwiegend opake Erzkörnchen, Biotit und Muskovit festzustellen.

Rutil. Außer den bereits aufgezählten gehört noch der Rutil zu den Schwermineralien, die im Derenburger Löß in beachtlicher Menge vorkommen. Der Farbe nach kann man drei Varietäten unterscheiden: eine gelbe, welche den Pleochroismus hellgelb und dunkelgelb zeigt; eine hellbraune mit dem Pleochroismus gelb und dunkelbraungelb; eine dunkelbraune mit ω = gelblichbraun und ε = dunkelbraun. Am häufigsten scheint die hellbraune Abart zu sein. Der Rutil tritt z. T. in guten, prismatischen, nach der c-Achse gestreckten Kriställchen auf, deren [001]-Zone durch die starke Riefung ausgezeichnet hervortritt. Die {111}-Flächen sind selten entwickelt, meist sind die Enden der Kriställchen abgebrochen, vielfach stark abgerundet. Häufig tritt der Rutil auch in Form von Splittern auf, an denen ursprüngliche Kristallflächen aber nicht selten festzustellen sind. Auch stark abgerundete Körner kommen verhältnismäßig häufig vor. Knieförmige Zwillinge nach {101} waren einige Male zu beobachten. Bei den vereinzelt Einschlüssen im Rutil handelt es sich nur um kleine opake Erzkörner.

Turmalin. Durch seinen starken Pleochroismus und seine hohe Lichtbrechung ist Turmalin leicht zu erkennen. Folgender Pleochroismus wurde beobachtet: 1. ω = braun, ε = hellgelblich. 2. ω = dunkelgrün, ε = hellbraun. 3. ω = dunkelblaugrün, ε = hellgraubraun. 4. ω = bräunlich, ε = hellrosa. Einmal wurde ein Körnchen mit dem Pleochroismus schwarzgrün-bräunlichviolett gefunden. Auch verschiedener Pleochroismus am gleichen Korn wurde einmal beobachtet: dieser 130 μ lange und 60 μ breite Turmalin zeigte in seinem mittleren, ellipsoidischen Teil die Farben hellbraun und dunkelgrün, während am übrigen Kristall die Farben gelblich und braun zu beobachten waren. Interessant ist in diesem Falle das Auftreten von schwarzen, moosartigen Einschlüssen um den mittleren Teil herum.

Auch ein violetter Turmalin wurde einmal gefunden. Der Habitus der Turmaline ist vorwiegend prismatisch. Die Kristallenden sind meist abgebrochen oder gerundet. Hin und wieder kann man eine hemimorphe Ausbildung feststellen. Nicht selten kommt der Turmalin auch in unregelmäßigen, scharfen Splintern vor. Bei den Einschlüssen dürfte es sich hauptsächlich um Magnetit handeln. Zonarstruktur war nur einmal zu beobachten.

Die erwähnten Schwerminerale (Opak, Epidot, Hornblende, Zirkon, Granat, Rutil und Turmalin) bilden praktisch den gesamten Schwermineralbestand. Zur Vervollständigung sollen nachstehend noch einige Minerale beschrieben werden, die bei der Durchmusterung der Präparate ab und zu angetroffen wurden.

Staurolith. Dieses Mineral ist leicht erkennbar an der hohen Lichtbrechung und an dem starken Pleochroismus (hellgelb und braungelb). Wohlausgebildete Kriställchen waren nicht zu finden; meist tritt der Staurolith in Körnchen mit unebenen bis muscheligen Bruchflächen auf. Als Einschlüsse sind Quarzkörnchen beobachtet worden.

Disthen. Dieses Mineral wurde nur wenige Male in farblosen, lang- oder flachstengeligen Kristallen angetroffen. Die Spaltbarkeit nach $\{100\}$ und der Faserbruch nach $\{001\}$ waren gut zu beobachten. Achserebene und n_α fast senkrecht $\{100\}$. Die Auslöschungsschiefe c/n_γ beträgt auf $\{100\}$ 28° . Die Körnchen sind scharf umgrenzt und, so weit man bei der geringen Anzahl überhaupt Angaben machen kann, frei von Einschlüssen. Eine Verwechslung mit dem manchmal ähnlich aussehenden Tremolit kann man vermeiden, wenn man bedenkt, daß der Tremolit eine niedrigere Lichtbrechung, eine kleinere Auslöschungsschiefe und weniger gut ausgebildete Querauflösung besitzt.

Andalusit. Nur ausnahmsweise wurde der Andalusit festgestellt. Er kommt in farblosen, langsäuligen Kristallen vor, die deutlichen Pleochroismus zeigen: rosa und grün bzw. rosa und farblos.

Topas. Zwei bis dreimal wurde ein Körnchen angetroffen, das nach seinen optischen Eigenschaften (gerade Auslöschung, schwache Doppelbrechung) Topas sein könnte. Allerdings war eine genaue konoskopische Untersuchung nicht möglich, so daß das Auftreten von Topas vorläufig noch zweifelhaft bleiben muß.

Korund. Von diesem Mineral wurde nur ein Körnchen in der Fraktion 20—10 μ gefunden (hohe Licht-, geringe Doppelbrechung). Es handelte sich um Rubin mit taubenblutroter Farbe und deutlichem Pleochroismus.

Trotz des beachtlichen Phosphorsäuregehaltes der chemischen Analyse konnte Apatit nicht beobachtet werden; auch nicht in den Proben, die nicht mit Säure behandelt worden waren. Die Phosphorsäure muß also in den Kalksteinkörnchen stecken. Auf die Möglich-

keit des Vorkommens von Vivianit machte mich freundlicherweise Herr Geheimrat Linck aufmerksam; aber auch dieses Mineral konnte nicht festgestellt werden.

b) Quantitative Bestimmungen.

Nicht nur für die Leichtmineralien, auch für die Schwermineralien sind Angaben über die mengenmäßige Beteiligung der einzelnen Mineralarten dringend erforderlich. Zunächst ist zu der Frage Stellung zu nehmen, ob die Schwermineralien aus einer Durchschnittsprobe vom Löß abgetrennt werden sollen, oder ob man hierzu zweckmäßig die durch Sieben und Schlämmen erhaltenen Fraktionen benutzt.

Bei der Untersuchung von Sanden ist in letzter Zeit immer wieder die Forderung erhoben worden [z. B. von Richter (67)], nur die einzelnen Fraktionen zu benutzen. Sindowski [76] trennte bei seinen Untersuchungen über die Tuffe und Löße des Laacher Seegebietes die Schwermineralien stets nur aus der Fraktion 0,2—0,1 mm ab, da in dieser die meisten Schwermineralien angereichert und diese wegen ihrer Größe besonders gut mikroskopisch zu bestimmen seien. A. Vendl [84] und C. H. Edelman [16], die beide umfangreiche Untersuchungen an Löß angestellt haben, benutzten Material, aus dem sie nur das Feinste durch einfaches Abschlämmen entfernt hatten. Edelman behandelt überdies die Proben mit Säure, um Eisenhydroxyde, Eisenspat, Apatit und Olivin sowie Sulfide zu entfernen. Siehe auch Bausch van Bertsbergh [3].

Im vorliegenden Falle wurde der Schwermineralbestand sowohl von der Durchschnittsprobe als auch von den einzelnen Fraktionen untersucht. Der Gang der Untersuchung gestaltete sich folgendermaßen:

Zuerst wurden 50—100 g der Durchschnittsprobe vom Löß in einem hohen Becherglase mit HCl-haltigem Wasser aufgeschlämmt und, nachdem die Karbonate zerstört waren, das Becherglas unter Umrühren mit einem Glasstabe fast bis zum Rande gefüllt. Nach etwa 10 Minuten wurde die Suspension vorsichtig abgegossen. Umrühren und Abgießen wurden mehrmals wiederholt, bis das Wasser klar abfloß. Auf diese Weise wurden die Teilchen mit einem Durchmesser kleiner als etwa 20 μ entfernt. Wie weiter unten gezeigt werden wird, hat sich herausgestellt, daß auf diese Weise wesentliche Verluste an Schwermineralien nicht eintraten, da diese sich fast ausschließlich in den gröberen Fraktionen vorfinden. Diese Vorbehandlung hatte den Zweck, durch Entfernen säurelöslicher Bestandteile¹⁾ den Schwermineralanteil zu vereinfachen und eine weitgehende Aufteilung zu erreichen; überdies wurde die mit Bromoform zu trennende Menge erheblich verkleinert.

Nach dem Trocknen wurde das Material in eine Bromoform enthaltende Glasbirne (Inhalt etwa 200 ccm, Flüssigkeitsmenge etwa

¹⁾ Später hat sich allerdings gezeigt, daß solche Mineralien nicht vorhanden sind.

100 ccm) gebracht, die oben durch einen Stopfen verschließbar war und unten einen röhrenförmigen, durch Gummischlauch und Quetschhahn verschließbaren Ansatz hatte. Durch mehrfaches Schütteln wurde eine genügende Trennung nach dem spezifischen Gewicht erreicht. Die in den Gummiansatz abgesunkenen Schwermineralien wurden in eine gewogene Platinschale abgelassen, das mitgerissene Bromoform mit Benzol verdünnt und vorsichtig dekantiert. Nach mehrmaligem Auswaschen mit Benzol wurde auf dem Wasserbad getrocknet und schließlich gewogen.

Auf diese Weise wurden zwei Bestimmungen durchgeführt. Die erste ergab 0,33%, die zweite 0,35% Schwermineralien. Während diese Werte gut übereinstimmen, ergab sich bei der Bestimmung der Schwermineralien aus den Einzelfractionen als Summe nur 0,28%. Dieser Unterschied ist offenbar durch den schwankenden Glimmergehalt in der Schwermineralfraktion bedingt. Wie wichtig es ist, die Probe vor der Abtrennung der Schwermineralien aufzubereiten, zeigte sich, als einmal die Lößprobe direkt ohne Vorbehandlung in Bromoform geschüttet wurde; dabei ließ sich durch einfache Sedimentation nur etwa der zehnte Teil der Schwermineralien abtrennen. Dagegen ergab die Abtrennung durch Zentrifugieren (etwa 3000 Umdrehungen je Minute) auch ohne Aufbereitung 0,30% Schwermineralien.

Von jeder schweren Fraktion wurden 2—3 Präparate (mit Kanadabalsam) angefertigt und die Mineralkörner ausgezählt. Hierzu wurde das Präparat mittels Kreutzisch durch das Gesichtsfeld geführt und zunächst die Körner gezählt, die durch den Schnittpunkt des Fadenskreuzes wanderten (Linienauszählung). Im Verlaufe der Untersuchungen hat es sich jedoch als ausreichend erwiesen, ganze Gesichtsfelder auszuzählen (Blickfeldauszählung), vorausgesetzt, daß die Körner nicht zu dicht gestreut waren.

Nach Edelman [16] genügt es, hundert durchsichtige Mineralkörner und die entsprechenden opaken auszuzählen. Es wurde einmal der Versuch gemacht, ob damit eine genügende Genauigkeit zu erreichen war. 10mal je 100 Körner (mit samt den opaken) wurden zu diesem Zwecke betrachtet und jedesmal der prozentuale Anteil der opaken Körner bestimmt. Es ergab sich:

Tabelle 19.

Für die ersten	100 Körner = 20 opake		
„ „ zweiten	100 „ = 29 „	} Mittelwert für 1000 Körner = 24%	
„ „ dritten	100 „ = 24 „		
„ „ vierten	100 „ = 23 „		
„ „ fünften	100 „ = 21 „		
„ „ sechsten	100 „ = 26 „		
„ „ siebenten	100 „ = 22 „		
„ „ achten	100 „ = 26 „		
„ „ neunten	100 „ = 27 „		
„ „ zehnten	100 „ = 20 „		

Wie man sieht, kann der Fehler erheblich sein, wenn man nur 100 Körner auszählt. Es fragt sich allerdings, ob bei der Schwermineralanalyse solche Fehler praktisch große Bedeutung haben. Immerhin muß die Forderung aufgestellt werden, möglichst genaue Werte zu bestimmen, und dazu ist die Auszählung von 300—400 Körnern erforderlich. Manchmal wurden sogar 600 bis 700 Stück ausgezählt.

Der Schwermineralbestand der Durchschnittsprobe ist nach diesen Untersuchungen folgender:

Opak 24%, Hornblende (einschl. Augit) 13%, Zirkon 12%, Granat 9%, Rutil 3%, Sonstiges (Epidot, Turmalin, Glimmer u. a.) 37%. Epidot wurde anschließend besonders bestimmt und ergab 15%, während Turmalin etwa 2% ausmacht. Letzteres Mineral ist hier also nur in geringer Menge vorhanden, während es in anderen Lößen (z. B. in der oberrheinischen Tiefebene) sehr reichlich vorkommt.

Weiterhin war zu untersuchen, ob die Schwerminerale nach Art und Menge gleichmäßig über das ganze Profil verteilt sind. Zu diesem Zwecke wurden Proben aus verschiedenen Horizonten entnommen (Abb. 4). Von jeder Probe wurden je 100 g eingewogen und daraus mit Bromoform die Schwerminerale abgetrennt. Die Untersuchungsergebnisse sind in den Tabellen 20 und 21 zusammengestellt.

Tabelle 20.

Verteilung der Schwerminerale in den Horizonten.

Horizont	Opak %	Epidot %	Zirkon %	Granat %	Hornblende %	Rutil %	Sonstig. %
5	33	9,5	13	9,5	5,5	5,5	24
4	26,5	9,5	11	8	7	5	33
3	28,6	13,8	12,4	7,1	9,3	3,6	25
2	28,1	16,5	12	9,6	7,2	8,1	18
1	28	17	10,5	9	8,5	7	20

In den unteren Teilen des Profils sind demnach im Verhältnis zu den anderen mehr Epidot, Hornblende und Rutil vorhanden; Zirkon findet sich in größerer Menge in den oberen Teilen, während Granat ein Minimum, Hornblende dagegen ein Maximum im mittleren Teile des Profils erkennen lassen. Diese Verschiebungen im Schwermineralbestand kommen noch besser zum Ausdruck, wenn man „Sonstiges“ wegläßt und das übrige auf die Summe 100 bringt (Tabelle 21).

Ob diese Unterschiede primär sind, oder ob durch nachträgliche Verwitterung eine Verschiebung im Schwermineralbestand eingetreten ist, läßt sich schwer entscheiden. Da im Derenburger Löß eine nur ganz unbedeutende Wanderung des Kalziumkarbonats festgestellt werden kann, könnte man zunächst an primäre Unterschiede denken;

denn man nimmt gewöhnlich eine merkliche Silikatzersetzung an, wenn das CaCO_3 entfernt ist und saure Bodenlösungen entstehen. Diese Ansicht ist aber nicht richtig, vielmehr kann auch bei alkalischer Reaktion der Bodenlösung eine erhebliche Zersetzung der Silikate eintreten.

Tabelle 21.

Horizont	Opak %	Epidot %	Zirkon %	Granat %	Hornblende %	Rutil %
5	43,5	12,5	17,1	12,5	7,2	7,2
4	39,6	14,2	16,4	12,0	10,5	7,5
3	38,2	18,5	16,6	9,5	12,4	4,8
2	34,3	20,1	14,6	11,8	8,8	9,9
1	35	21,3	13,1	11,3	10,6	8,8

Bisher war immer nur von Kornzahlen innerhalb der einzelnen Horizonte die Rede. Wichtig ist nun zu wissen, welchen Anteil die einzelnen Horizonte am Schwermineralbestand haben, der an der Durchschnittsprobe des ganzen Profils ermittelt worden ist. Hierzu wurden in einer Probe von 100 g aus den einzelnen Horizonten die Schwerminerale abgetrennt und quantitativ bestimmt (in einer Platinschale gewogen). Danach fallen von dem Schwermineralbestand der Durchschnittsprobe auf die einzelnen Horizonte folgende Anteile:

Tabelle 22.

Horizont	%
5	6,2
4	8,6
3	33,6
2	18,7
1	32,9
	100,0

Man sieht daraus, daß in den unteren Teilen des Profils der größte Teil des Schwermineralbestandes abgelagert worden ist. Die Prozentzahlen für die einzelnen Mineralien nehmen im allgemeinen von oben nach unten ab. Streng kontinuierlich ist der Verlauf allerdings nicht, da der Horizont 2 etwas aus der Reihe fällt. Unter Zugrundelegung dieser Zahlen wurden aus den Kornprozenten der Tabelle 20 Gewichtsprozente berechnet, mit

denen sich die einzelnen Komponenten in den verschiedenen Horizonten an der Zusammensetzung der Schwermineralfraktion beteiligen. Das Ergebnis ist in Tabelle 23 zusammengestellt.

Der durch Summation aus den einzelnen Horizonten ermittelte Schwermineralbestand stimmt nicht genau mit dem der Durchschnittsprobe überein. Das kann seinen Grund darin haben, daß die Probenentnahme zu etwas verschiedenen Zeiten erfolgt ist; zweitens sind die Horizontproben nur aus dem mittleren Teil des Profils entnommen, während die Durchschnittsprobe Material vom gesamten Aufschluß enthält. Weiter kommt hinzu, daß der Schwermineralbestand unter

Berücksichtigung der Mengenverhältnisse bei den Proben der einzelnen Horizonte erst errechnet werden mußte. Demnach kann man mit der Übereinstimmung zufrieden sein.

Tabelle 23.

Die gewichtsprozentische Beteiligung der einzelnen Komponenten in den verschiedenen Horizonten.

Horizont	Opak %	Epidot %	Zirkon %	Granat %	Hornblende %	Rutil %	Sonstig. %
5	2,04	0,59	0,80	0,59	0,34	0,34	1,49
4	2,28	0,82	0,95	0,69	0,60	0,43	2,84
3	9,60	4,63	4,17	2,39	3,13	1,20	8,40
2	5,26	3,09	2,24	1,80	1,35	1,52	3,36
1	9,21	5,59	3,46	2,96	2,80	2,30	6,58
Summe (abgerundet)	28	15	12	8	8	6	23

Übrigens wurde auch zweimal der Titan- und Zirkongehalt durch chemische Analyse quantitativ bestimmt, und zwar wurden hierzu die Schwermineralproben aus den Horizonten 1 und 3 benutzt, da von diesen die größte Substanzmenge vorhanden war. Die abgewogenen Proben wurden mit Fluß- und Schwefelsäure aufgeschlossen, das Titan kolorimetrisch und das Zirkon als Phosphat bestimmt. Die Ergebnisse sind nachfolgend zusammengestellt.

Rechnet man bei Probe 1 für den gefundenen Rutil 7% TiO_2 ab, so muß der opake Anteil 56% TiO_2 enthalten. Nun entspricht der Formel FeTiO_3 ein TiO_2 -Gehalt von $53\frac{1}{2}\%$. Daraus ergibt sich, daß der opake Anteil unseres Schwermineralbestandes reiner Ilmenit ist,

der höchstens eine kleine Menge von Rutil als Einschluß enthält. Es ist an sich durchaus möglich, daß auch etwas Magnetit vorhanden ist, dieser könnte durch die Behandlung mit Salzsäure herausgelöst worden sein. In Wirklichkeit ist dies nicht der Fall, denn die nach Behandlung mit Salzsäure untersuchte Probe ergab die gleiche Menge an Schwermineralien wie die unbehandelte.

Tabelle 23a.

Horizont	TiO_2 %	ZrSiO_4 %
1	22,7	8,5
3	20,8	9,0

Stellt man den chemisch ermittelten Zirkongehalt dem durch Auszählen erhaltenen gegenüber, so zeigen sich erhebliche Abweichungen, wenn auch in beiden Fällen der Zirkongehalt in Horizont 3

größer ist als in 1. Dabei muß man bedenken, daß die Zirkonkriställchen im Durchschnitt erheblich kleiner als die Kriställchen der übrigen Schwermineralien sind. Daher ergibt die chemische Analyse einen kleineren ZrO_2 -Gehalt, als der Zahl der Körner entspricht.

Die Frage, ob der Schwermineralbestand eine nachträgliche Veränderung erfahren hat, kann nach den bisherigen Untersuchungen nicht eindeutig beantwortet werden. Der nach oben zu allmählich abnehmende Epidotgehalt könnte als Beweis dafür herangezogen werden. Dagegen scheint jedoch der Granatgehalt zu sprechen, der in allen Horizonten etwa gleich groß ist. Nun ist es aber durchaus möglich, daß der Granatgehalt in den oberen Teilen des Profils früher größer gewesen ist. Bei der Durchmusterung der Präparate trifft man zwar überall an den Granatkörnern scharfe Grate, die zwischen den durch Herausspringen von kleinen Teilchen gebildeten Vertiefungen liegen. Man hat aber den Eindruck, daß die scharfen Grate häufiger in den tieferen Horizonten auftreten, wo auch die splitterige Beschaffenheit des Epidots mehr hervortritt. Das wären wiederum Hinweise auf eine sekundäre Beeinflussung des Schwermineralbestandes. Alles in allem möchte ich glauben, daß diese nur gering gewesen ist, daß also die verschiedene vertikale Verteilung primär bedingt ist.

Weiterhin wurde untersucht, wie sich die Schwermineralien nach dem Schlämmen im Atterberg-Zylinder auf die einzelnen Fraktionen verteilen. Hierbei ergab sich für die Durchschnittsprobe, daß nur 1,5% aller Schwermineralien in der Fraktion 20—10 μ vorkommen, die Hauptmasse verteilt sich zur Hälfte auf die Fraktionen 50—20 μ und größer als 50 μ .

Dieser Befund ist wichtig, da ja z. B. Edelman und Vendl vor der Abtrennung der Schwermineralien die feinen Teilchen unter 20 μ abschlämmen. Ob bei allen Lößen die Hauptmasse der Schwermineralien größer als 20 μ ist, müßte erst noch nachgewiesen werden. Für die mikroskopische Untersuchung ist das Vorhandensein größerer Teilchen natürlich vorteilhaft.

Der Schwermineralbestand der Fraktionen $> 50 \mu$ und 50—20 μ ist qualitativ der gleiche; Granat und Zirkon sind in beiden Fraktionen in gleicher Menge vorhanden, dagegen hat die gröbere Fraktion etwas weniger opake Mineralien.

5. Quantitativer Mineralbestand der Durchschnittsprobe.

Auf Grund der Untersuchungen an den einzelnen Fraktionen läßt sich nun für die Durchschnittsprobe folgender Mineralbestand angeben:

Tabelle 24.

Mineralbestand der Durchschnittsprobe.

	Quarz	Feldspat	Kalkspat	Dolomit	Glimmer	Montmorillonit
	%	%	%	%	%	%
0,1 — 0,05 mm	8,25	4,74	1,13	—	0,25	—
0,05 — 0,02 „	27,14	11,68	4,23	2,99	1,48	—
0,02 — 0,002 „	8,88	4,02	4,30	0,51	6,33	—
0,002 „	0,69	—	0,79	—	1,73	3,11
Durchschnittsprobe	44,96	20,44	10,45	3,50	9,80	3,11

Für die prozentuale Beteiligung der Fraktionen wurden die Werte benutzt, die nach der Atterberg-Methode erhalten worden waren, und die sich nach den mikroskopischen Ausmessungen als am zuverlässigsten erwiesen hatten.

Die Summe der beobachteten Werte für die Durchschnittsprobe ergibt nur 92,26%. Daß liegt daran, daß 5% aus den restlichen oder unbestimmten Mineralien bestehen; die dann noch fehlenden 2,5% kommen den Fraktionen größer als 0,1 mm zu, deren Mineralbestand wegen der geringen Beteiligung nicht bestimmt worden ist. Trotzdem entsprechen die beobachteten Werte annähernd den wahren Verhältnissen, wie später die Berechnungen auf Grund der chemischen Analyse zeigen werden. Allerdings wird man vermuten können, daß der Wert für Feldspat etwas zu hoch ausgefallen ist (und entsprechend der Glimmerwert zu niedrig), da auch ganz frische Feldspäte immer etwas Glimmer- oder Tonmineralien enthalten.

6. Errechnung des spezifischen Gewichtes aus dem Mineralbestand.

Aus dem errechneten Mineralbestand läßt sich das spezifische Gewicht der Durchschnittsprobe bestimmen und mit dem experimentell ermittelten Wert vergleichen. Wie aus folgender Tabelle hervorgeht, stimmen beide Werte überein.

III. Die Korngestalt.

(Kornform und Kantigkeit.)

Mit der Bestimmung der Korngröße sind die Teilchen, die den Löß aufbauen, noch nicht genügend gekennzeichnet. Zunächst ist ihre Form, die mit Rundung und Abrollung (Kantigkeit) nicht

verwechselt werden darf, von großer praktischer und genetischer Bedeutung.

Tabelle 25.

Berechnung des spezifischen Gewichtes.

	%	s	v = m/s
Quarz	45	2,65	16,98
Karbonate	14	2,8	5,00
Alkalifeldspate . . .	20,4	2,6	7,85
Glimmer	9,8	2,8	3,50
Montmorillonit . . .	3,0	2,0	1,50
	92,2		v = 34,83

Berechnetes spez. Gew. der Durchschnittsprobe $\frac{92,2}{34,83} = 2,6471$

Experimentell gefunden 2,649.

Von den verschiedenen Versuchen, die Kornform auf einfache Weise zu bestimmen, befriedigt am meisten der von Th. Zingg [90]. Es werden drei Durchmesser (ein längster, ein kleinster und ein mittlerer) ausgewählt, die senkrecht zueinander stehen. Sind alle drei Durchmesser etwa gleich groß, haben wir ein mehr oder weniger kubisches oder kugeliges Gebilde vor uns. Sind zwei Durchmesser ungefähr gleich groß, der dritte verschieden, so kann die Korngestalt sein:

- a) stengelig, wenn der dritte Durchmesser groß ist,
- b) flach, wenn er klein ist gegenüber den beiden anderen.

Weichen alle drei Durchmesser voneinander ab, so ist das Korn sowohl flach als stengelig (flachstengelig). Mit der Schublehre kann man daher an groben Körnern sehr leicht folgende Formen bestimmen:

1. Kugelig, 2. stengelig, 3. flach, 4. flachstengelig.

Mit dem Binokular lassen sich nach Zingg Körner bis $\frac{1}{4}$ mm herunter noch kennzeichnen.

Beim Löß liegen die Verhältnisse ungünstig, weil die Korngrößen unterhalb 0,2 mm liegen. Man kann daher im mikroskopischen Präparat nur das Verhältnis der beiden sichtbaren Hauptachsen bei den einzelnen Körnern bestimmen. In Tabelle 26 sind die Messungsergebnisse zusammengestellt.

Die Längen der Hauptachsen wurden zuerst mit dem Mikrometerokular u. d. M. bestimmt. Bald stellte sich aber heraus, daß auf diese Weise nur bei den gröberen Fraktionen (0,5—0,2 mm und 0,2—0,1 mm) genügende Genauigkeit zu erreichen war. Daher wurden mit Hilfe eines Zeichenapparates die Mineraldurchschnitte auf Papier gezeichnet. Das hat einmal den Vorteil, daß man an diesen Umriß-

zeichnungen mühe-
los und sehr genau
die Hauptdurch-
messer ausmessen
und die Ergebnisse
jederzeit von einem
anderen Beobachter
nachprüfen lassen
kann. Weiterhin
kann man diese
Zeichnungen für die
Bestimmung des Ab-
rollungsgrades be-
nutzen. Auf die so
erhaltenen Belege
kann man später
immer wieder zu-
rückgreifen. Abb. 22
zeigt einige Umrisse
mit den punktiert
eingezeichneten
Achsen.

Zum Zeichnen der
Umrisse wurde bei
den größeren Frak-
tionen ein Zeichen-
apparat nach Abbe
(Druckschrift Zeiss
Mikro 118/38) be-
nutzt, bei dem
gleichzeitig mit den
unter dem Mikro-
skop liegenden Kör-
nern die Spitze des
Zeichenstiftes zu
sehen ist. Hierbei
arbeitet man bei Ta-
geslicht. Bei klei-
neren Fraktionen
($< 100 \mu$), bei denen
dieses Verfahren zu
anstrengend und un-
genau ist, leistete ein

Tabelle 26.

d_1/d_2	0,5—0,2 mm				0,2—0,1 mm				0,1—0,05 mm				0,05—0,02 mm				0,02—0,01 mm			
	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	Quarz
1,0	3	4	10	6	4	8	6	5	3	3	5	2	7	6	2	9	4	5	5	13
1,1	11	8	9	14	12	15	14	8	10	16	8	13	11	10	13	15	16	10	10	8
1,2	13	14	16	15	21	15	15	14	10	13	14	22	9	12	22	5	15	8	8	8
1,3	15	15	21	11	14	11	16	19	10	19	19	12	18	9	12	12	19	17	17	17
1,4	16	14	20	12	8	12	14	18	12	18	12	8	14	10	8	10	8	15	15	15
1,5	15	17	6	13	20	13	9	4	8	4	8	7	9	11	7	11	9	9	9	9
1,6	9	6	7	6	10	6	2	10	9	10	8	15	4	9	15	7	4	8	8	8
1,7	4	6	1	5	2	5	7	6	17	2	6	4	7	9	4	5	9	6	6	6
1,8	4	5	5	4	2	4	4	5	5	4	5	6	5	9	6	5	5	8	8	8
1,9	—	5	4	2	3	5	2	6	5	3	6	3	2	2	3	6	6	—	—	—
2,0	7	1	—	3	2	3	5	5	6	1	5	—	2	6	—	6	1	1	1	1
> 2,0				3	2	3	6	4	5	7	4	8	12	7	8	9	14	13	13	13

Projektionszeichenapparat gute Dienste. Dieser bestand aus dem kleinen Mikroprojektionsapparat nach Zeiss (Druckschrift Mikro 452/II) mit Bogenlampe. Das Abbesche Würfelchen des Zeichenapparates mußte allerdings durch ein rechtwinkeliges Prisma ersetzt werden.

Vergleichen wir die Messungsergebnisse miteinander, so sehen wir, daß nur beim Quarz mit abnehmender Korngröße das Verhältnis der Hauptachsen allmählich größer wird. Bei den Mittelwerten aus

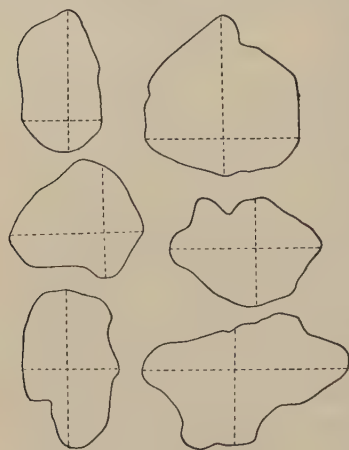


Abb. 22.

allen Mineralien (Kalkspat herausgelöst) tritt diese Abhängigkeit von der Korngröße ebenfalls in Erscheinung (Tabelle 27). Allerdings macht die Fraktion 0,2—0,1 mm eine Ausnahme, da die Werte hier auf etwa 1,40 heruntergehen, um dann in der nächsten Fraktion sprunghaft anzusteigen. Ob dieses Verhalten durch genetische Umstände bedingt ist, soll bei anderer Gelegenheit erörtert werden.

Wurde der Kalkspat nicht herausgelöst, so verkleinerten sich die Werte von 0,1—0,05 mm ab mit fallender Korngröße. Das ist offenbar durch die Löslichkeit des Kalkspates bedingt, die ab 0,02 mm schon erheblich ist, so daß dieses Mineral in dieser Fraktion meist in runden Körnern auftritt.

Tabelle 27

Mittelwerte für das Verhältnis der sichtbaren Achsen.

mm \varnothing	Nach Kopecky-Kraus		Nach Atterberg		
	mit CaCO_3	CaCO_3 herausgelöst	mit CaCO_3	CaCO_3 herausgelöst	Quarz
0,5 — 0,2	1,45	1,45	—	—	1,37
0,2 — 0,1	1,39	1,41	—	—	1,43
0,1 — 0,05	1,50	1,46	1,52	1,44	1,46
0,05 — 0,02	1,50	1,55	1,51	1,53	1,46
0,02 — 0,01	—	—	1,48	1,58	1,56

Neben der Kornform ist die Kantigkeit der Körner von großer Bedeutung. Gerade beim Löß gehen die Angaben über den Grad der Kantigkeit (Abrollungsgrad)¹⁾ weit auseinander. So behauptet der

¹⁾ Es wäre wohl richtiger, statt Abrollungsgrad den Begriff Kantigkeit zu setzen. Wie Schmitt [74] gezeigt hat, können Granitquarze geringe Kantigkeit, also einen hohen Abrollungsgrad, aufweisen, obgleich sie doch noch nicht abgerollt worden sind.

eine, daß die Quarzkörner meist in vollendet abgerundeter Form bis zu den kleinsten Korngrößen herunter auftreten [19] und sieht darin einen Beweis für die äolische Entstehung des Lößes; denn nach Daubrée [13] werden Körner von weniger als 0,1 mm beim Wassertransport nicht weiter gerundet. Dagegen behauptet der andere, die Quarzkörner liegen beim Löß in vorwiegend eckiger Form vor. Um hier genaue und vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können, muß eine exakte Meßmethode ausgearbeitet werden.

Zunächst muß man zwischen Rundung und Abrollungsgrad unterscheiden. Gerade der Begriff „rund“ wird so verschiedenartig angewendet, daß Vergleiche zwischen den einzelnen Angaben nicht möglich sind. Nach Cox [12] läßt sich der Abrundungsgrad einwandfrei durch eine Zahl ausdrücken, „die angibt wieviel mal größer das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen (bzw. vom Umfang zu Fläche) einer gegebenen Form zu dem einer inhaltgleichen Kugel (bzw. eines Kreises) ist.“ Die Coxsche Formel lautet:

$$k = \frac{\text{Fläche} \cdot 4 \pi}{(\text{Umfang})^2}$$

k kann maximal gleich 1 sein (Kreis). Praktisch wird k so ermittelt, daß die Körnerumrisse mit Planimeter und Kurvenmesser ausgemessen werden. Aus zahlreichen Messungen erhält man ein mittleres Volumen-Oberflächen-Verhältnis.

E. v. Szádeczky-Kardoss [82] hat gezeigt, daß das Coxsche Verfahren hinsichtlich des Rundungsgrades wohl richtig ist, aber nicht zur Bestimmung des Abrollungsgrades benutzt werden kann, da die Coxschen Abrundungswerte von der ursprünglichen Gestalt der Körner abhängig sind. Stark abgerollte, aber tafelige oder säulige Körner können kleinere Abrundungswerte aufweisen, als kantige, annähernd isometrische Körner. Weitere Nachteile des Coxschen Verfahrens sind, daß man nur Mittelwerte von vielen Körnern erhält, ohne den Abrollungsgrad einzelner Körner zu erfassen, und daß man damit nur feinkörnige Sedimente, nicht aber große Gerölle kennzeichnen kann. Vor allem ist das Coxsche Verfahren sehr zeitraubend.

Allgemein anwendbar und verhältnismäßig leicht durchführbar dagegen ist das Verfahren von Szádeczky-Kardoss zur Bestimmung des Abrollungsgrades. Hierbei wird an Körnerdurchschnitten das prozentuale Verhältnis der konkaven, planen und konvexen Kurvenseiten bestimmt.

c = prozentualer Anteil der konkaven Flächen,

p = prozentualer Anteil der planen Flächen,

v = prozentualer Anteil der konvexen Flächen.

Praktisch wurde im vorliegenden Falle das $c p v$ -Verhältnis an Umrissen bestimmt, die mit der erwähnten Zeichenapparatur gezeichnet worden waren. Durch Teilstriche wurden die einzelnen Umgrenzungsstücke abgegrenzt und dann die Summe zusammengehöriger Teilstücke mit dem Kurvenmesser bestimmt. Die Summe der $c p v$ -Werte wurde mit dem Rechenschieber auf 100 gebracht. In Abb. 23 sind einige Umrisse mit den dazugehörigen $c p v$ -Werten angegeben. Die $c p v$ -Werte kann man im Dreieck (Abb. 24) zur Darstellung bringen. Szádeczky-Kardoss unterscheidet 5 verschiedene Abrollungsgrade, die in der nachstehenden Tabelle gekennzeichnet sind (Tabelle 28).

Tabelle 28.

Grad o	C = 100%	
1a	$C > (P + V)$	$P > V$
1b		$P < V$
2a	$(P + V) > C > V$	$P < (C + V)$
2b		$P > (C + V)$
3a	$(C + P) > V > C$	$P > (C + V)$
3b		$P < (C + V)$
4a	$(C + P) < V$	$P < C$
4b		$P > C$
5	$V = 100\%$	

Nach dieser Methode sind für die einzelnen Fraktionen der Durchschnittsprobe vom Löß die Abrollungsgrade an vielen Hunderten von Körnern bestimmt worden. In Tabelle 29 sind die Mittelwerte der Abrollung der Körner von den einzelnen Fraktionen und andererseits auch der prozentuale Anteil der verschiedenen Grade angegeben worden.

Wie schon von Th. Zingg [90] festgestellt wurde, genügt es vollkommen, für jede Fraktion 100 Durchschnitte auszumessen. Nach meinen Erfahrungen kann ich dies bestätigen. Ja, um den Abrollungsgrad zu bestimmen genügen meist 50 Durchschnitte.

Die mittleren Abrollungsgrade liegen bei 3b und 4a. Eine Ausnahme macht die kalkspathaltige Fraktion 0,2—0,1 mm mit 2a. Der Grund liegt darin, daß in dieser Fraktion viel sekundärer Kalkspat in scharfbegrenzten Kriställchen auftritt. Im übrigen zeigt sich keine Abhängigkeit des Abrollungsgrades von der Korngröße, wie man es bei größeren Sedimenten beobachten kann. Dagegen zeigt sich innerhalb jeder Fraktion mit einer Ausnahme, daß die kalkspathaltigen Proben den höchsten c -Wert und das kleinste v besitzen; der Quarz dagegen weist das kleinste c und den höchsten v -Wert auf. Innerhalb

Tabelle 29.

Variationsbreite der Abrollungsgrade.

Abrollungs- grad	0,5—0,2 mm			0,2—0,1 mm			0,1—0,05 mm			0,05—0,02 mm			0,02—0,010 mm		
	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz	mit Kalk- spat	ohne Kalk- spat	Quarz
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1a	8	—	3	5	3	2	1	1	1	4	3	3	3	4	—
1b	25	8	15	29	18	14	9	12	6	20	22	13	21	22	6
2a	15	23	18	6	11	13	15	7	3	10	13	8	19	15	5
2b	—	1	2	2	1	—	1	1	1	3	—	1	—	1	—
3a	2	2	—	3	2	4	5	3	2	4	4	1	1	3	3
3b	12	27	17	14	25	22	11	18	19	18	9	24	16	12	12
4a	32	33	32	31	27	33	38	39	54	30	31	43	34	34	54
4b	5	6	13	8	12	12	15	17	15	7	18	7	6	9	20
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittlerer Abrollungs- grad	3b	3b	3b	2a	3b	3b	4a	4a	4a	3b	3b	3b	3b	3b	4a
Mittel- werte	41 17 42	35 17 48	34 13 53	49 18 33	35 19 46	32 20 48	29 18 53	32 17 51	30 15 55	40 18 42	35 16 49	33 17 50	37 15 48	36 22 42	26 17 54

der Fraktionen verteilen sich die Körner im wesentlichen auf die Abrollungsgrade 1b, 2a, 3b, 4a und 4b. Die Grade 2b und 3a fallen also fast vollkommen aus.

Da bisher andere Lößvorkommen nach der Methode von Szádeczky-Kardošs nicht untersucht worden sind, läßt sich zunächst

noch nicht sagen, ob und wie weit der Abrollungsgrad zur Kennzeichnung und Unterscheidung von Lößvorkommen geeignet ist.

Der Abrollungsgrad ist von verschiedenen Faktoren abhängig: vom Material, von der Korngröße und von der Art und Länge des Transports. Gesteine und Mineralien müssen hinsichtlich des Abrollungsgrades verschieden beurteilt werden. Da beim Löß die Körner fast ausschließlich kleiner als 0,1 mm sind, treten nur Einzelmineralien auf, deren Abrollungsgrad hauptsächlich von der Spaltbarkeit abhängig ist. Natürlich ist auch die Härte und Sprödigkeit von Bedeutung.

Am besten ist der Quarz zur Bestimmung des Abrollungsgrades geeignet. Feldspat läßt sich wegen der ausgezeichneten Spaltbarkeit nicht verwenden, auch der Glimmer nicht, da er immer in Form von Blättchen auftritt. Kalkspat, der ja auch in erheblichen Mengen an der Zusammensetzung des Lößes beteiligt ist, zeigt bei ausgezeichneter Spaltbarkeit meist starke Abrollung, da die Härte gering ist.

Im allgemeinen sind äolische Sande besser abgerollt als fluviatile. Die Unterschiede sind durch die verschiedenen Dichten von Luft und Wasser bedingt und

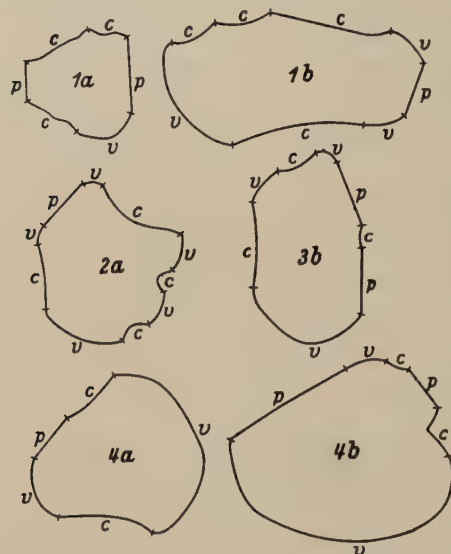


Abb. 23.

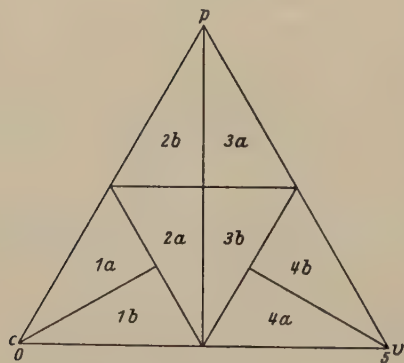


Abb. 24.

durch die größere Transportgeschwindigkeit in Luft. Ob man bei einem Lößvorkommen auf Grund des Abrollungsgrades Schlüsse auf den Transport ziehen kann, wird sich erst übersehen lassen, wenn umfangreiche Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Nach v. Engelhardt [20] ist es möglich, bei Sanden zwischen wind- und wassersortierten zu unterscheiden. Das beruht darauf, daß

die Maxima der Korngrößen von Leicht- und Schwermineralien, die zu gleicher Zeit sedimentiert sind, einen Größenunterschied zeigen, der durch die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte bedingt ist (Tabellen 30 u. 31). Für verschiedene Sande konnte v. Engelhardt nachweisen, daß bei den Korngrößenmaxima von Quarz, Granat und Magnetit die Radienverhältnisse

$$R_{\text{Quarz}} : R_{\text{Granat}} : R_{\text{Magnetit}}$$

für wassersortierte Sande größer sind als für windsortierte. Das ist in Übereinstimmung mit den theoretisch abgeleiteten Werten. Falls die Teilchen am Boden gerollt werden, leiten sich die in Tabelle 32 zusammengestellten Zahlen ab.

Wohl selten kommt bei natürlichen Sanden nur eine Transportart vor. Gewöhnlich sind Schweben und Rollen kombiniert, daraus ergibt sich das Springen. Beim Löß sind die Körner so klein, daß sie fast alle durch Schweben fortbewegt worden sind.

Um zu prüfen, ob man auch beim Derenburger Löß aus dem Radienverhältnis auf die Entstehung schließen kann, wurde zunächst die nach dem Atterberg-Verfahren erhaltene Fraktion 50—20 μ

Tabelle 30.

Radienquotienten gleichschnell sinkender Quarz-, Almandin-, und Magnetitkörner in Wasser.

Radius Quarz in μ	$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Almandin}}$	$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Magnetit}}$
500	1,797	2,277
400	1,758	2,205
300	1,700	2,101
200	1,610	1,946
100	1,468	1,721
20	1,392	1,601
		Oséén Stokes

Tabelle 31.

Radienquotienten gleichschnell sinkender Quarz-, Almandin- und Magnetitkörner in Luft.

Radius Quarz in μ	$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Almandin}}$	$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Magnetit}}$
500	1,553	1,912
400	1,544	1,894
300	1,529	1,864
200	1,499	1,807
100	1,438	1,684
10	1,248	1,401
		Oséén Stokes

untersucht. Da das Material durch Wasser aufbereitet ist, müßte sich für $R_{\text{Quarz}} : R_{\text{Granat}}$ ungefähr 1,4 ergeben. Die Korngrößenverteilung des Quarzes in dieser Fraktion war schon von früheren Untersuchungen (BI,5) her bekannt. Die Berechnungen v. Engelhardts gehen von der Annahme kugelförmiger Teilchen aus. Quarz und Granat bilden jedoch eckige und z. T. flache Bruchstücke; daher darf man auch nur annäherungsweise die theoretisch abgeleiteten Werte erwarten.

Tabelle 32.

Radienverhältnisse von Quarz-, Almandin- und Magnetitkörnern mit gleichem Rollwiderstand in Wasser und Luft.

$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Almandin}}$		$r_{\text{Quarz}} : r_{\text{Magnetit}}$	
Wasser	Luft	Wasser	Luft
1,938	1,577	2,563	1,962

Abb. 25 und 26 zeigen das Ergebnis der Messungen an den Quarz- und Granatkörnern in der Fraktion 50—20 μ . Während nach der Theorie dem Maximum der Quarzkörner ein bei einer kleineren Korngröße liegendes Maximum der Granatkörner entspricht, haben wir hier den umgekehrten Fall. Das Maximum von Quarz

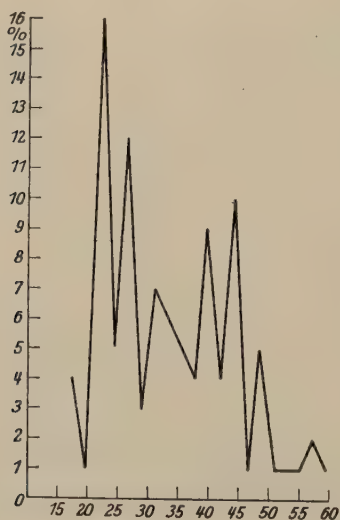


Abb. 25.

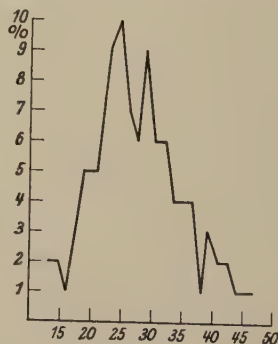


Abb. 26.

liegt bei 22 μ , das von Granat bei 25 μ . Man kann dies nur so erklären, daß die Granatkörner sehr flach sind, während die dazugehörigen Quarzkörner eine größere Dicke aufweisen. Das höhere spezifische Gewicht des Granats wird also durch ein geringeres absolutes Gewicht ausgeglichen. Dagegen kommt man zu einem annehmbaren Radien-

quotienten, wenn man das Quarzmaximum bei 43μ und das Granatmaximum bei 30μ benutzt.

Auch aus dem Schwermineralanteil der ungeschlämmten Durchschnittsprobe wurden die Granatkörner untersucht. Hier liegt das Maximum bei einer noch höheren Korngröße. Leider mußten die Untersuchungen auf Granat beschränkt bleiben, da sonst kein weiteres geeignetes Schwermineral (wie z. B. Magnetit) in diesem Löß vorkommt.

Aus dem Radienverhältnis $R_{\text{Quarz}}:R_{\text{Granat}}$ möchte ich schließen, daß ein Teil des Lößmaterials (und damit ein Teil des Granats) von Gesteinen der nächsten Umgebung herrührt. Wenn nämlich alle Granatkörner einem längeren Transport unterlegen gewesen wären, wären sie wahrscheinlich ebenso stark abgerundet wie der Quarz, denn beide haben die gleiche Härte. Dann würde auch keine höhere Korngröße beim Ausmessen der Hauptachsen der Granatkörner vorgetäuscht werden.

IV. Chemische Untersuchungen.

1. Qualitative Untersuchungen.

Wird eine Probe Löß mit Wasser angerührt, so zeigt sich alkalische Reaktion. Bei Behandlung mit Salzsäure erfolgt, wie es beim Löß üblich ist, ein lebhaftes Aufbrausen. Gleichzeitig macht sich ein erdölartiger Geruch bemerkbar, wie man ihn bei der Zersetzung von Stinkkalken oder -dolomiten mit Salzsäure feststellen kann. Nach dem Filtrieren und Eindampfen der Lösung sind beachtliche Mengen an organischer Substanz im Rückstand zu beobachten. Daher macht sich beim Erhitzen einer Lößprobe im offenen Röhrchen ein Geruch nach verbranntem Erdöl bemerkbar, wobei die Farbe hellchokoladenbraun wird. Beim Erhitzen an der Luft erfolgt Wasserabgabe, und der Löß wird rotbraun.

Jod ließ sich in der Weise nachweisen, daß eine Probe mit Kaliumpermanganat und Schwefelsäure erhitzt wurde. Die entweichenden Joddämpfe färbten ein mit Stärkelösung angefeuchtetes Papierstückchen blau.

Arsen wurde nach dem Marshschen Verfahren erkannt. Hierbei machten sich die durch die Säure entwickelten großen CO_2 -Mengen zunächst störend bemerkbar. Es wurde daher vorher die Kohlensäure entfernt, indem 10 g Löß auf dem Wasserbade mit Schwefelsäure behandelt wurden. Mit dieser verhältnismäßig großen Menge ließ sich Arsen gerade noch durch einen zarten Arsenspiegel nachweisen.

Die übrigen seltenen Elemente wurden durch spektrographische Untersuchungen nachgewiesen (S. 145). Schwefelwasserstoff ließ sich bei Anwendung von Salzsäure und Bleiazetatpapier nicht feststellen.

2. Quantitative Analyse der Durchschnittsprobe.

Vom Derenburger Löß liegt bereits eine quantitative chemische Analyse vor, die von Kunze und Vogel [50] veröffentlicht worden ist. Außerdem hat Peyer [62] die Zersetzbarkeit durch Wasser und Salzsäure bestimmt.

Der Alkaligehalt der Kunze-Vogelschen Analyse ist für einen Löß unwahrscheinlich hoch. Da überdies einige Komponenten (TiO_2 , MnO_2 , P_2O_5 u. a.) nicht bestimmt worden sind, mußte eine neue Analyse angefertigt werden. Auch von den verschiedenen Fraktionen, in die die Durchschnittsprobe nach der Atterberg-Methode zerlegt worden war, wurden Bauschanalysen ausgeführt. Partialanalysen von Proben aus verschiedenen Teilen des Profils sollen Aufschluß darüber geben, welche Schwankungen im Chemismus vorhanden sind. Schließlich ist der Quarzgehalt mittels Borfluorwasserstoffsäure bestimmt worden, um eine Kontrolle für die mikroskopisch ermittelten Werte zu haben. Auch die Löslichkeit in Salzsäure und Essigsäure wurde geprüft.

Die Ausführung der chemischen Bauschanalysen erfolgte im wesentlichen nach den Angaben von Jakob [37] und Dittler [14] nach Aufschluß mit Soda-schmelze. Nach den Angaben von Weiß [87] wurde die Kieselsäure vergleichsweise auch mit Gelatine gefällt. Während bei kleinen SiO_2 -Gehalten (wie im Stahl) die erhaltenen Werte befriedigend sind, ist der Fehler bei großen Mengen jedoch derartig (etwa 1—2%), daß die Abscheidung der Kieselsäure für einwandfreie Analysen nur nach der üblichen Methode erfolgen kann.

Titan wurde kolorimetrisch bestimmt, wobei die Lösungen in zwei Meßzylindern miteinander verglichen wurden. Die Kontrolle mit dem Pulfrichschen Stufenphotometer zeigte, daß man genügend genaue Werte erhalten kann, besonders wenn man die Bestimmungen doppelt oder dreimal ausführt und den Mittelwert verwendet. Auch die Bestimmung des Mangans erfolgte auf diesem Wege unter Verwendung der von Dittler [14] angegebenen Vergleichslösung.

Zur Prüfung auf Chrom wurde der wässrige Auszug der Sodaschmelze benutzt. Ausgegangen wurde von einer Einwaage von 10 g, in der zunächst durch H_2F_2 und H_2SO_4 die Kieselsäure beseitigt wurde, da diese sonst fast alles Chrom adsorbiert [10].

Zirkonium ist fast ausschließlich in Form von Zirkon vorhanden; es findet sich daher praktisch nur in der Schwermineralfraktion. Nach Abtrennung dieser Fraktion mit Bromoform aus einer größeren Menge Löß (50—100 g) wurde dieses Element als Phosphat zur Wägung gebracht. Bei einem Schwermineralgehalt von 0,34% ergab sich auf diese Weise: 0,03% ZrSiO_4 oder 0,02% ZrO_2 oder 0,015% Zr, was in guter Übereinstimmung mit dem spektralanalytisch ermittelten Wert ist.

Die FeO-Bestimmung erfolgte nach Aufschluß mit Fluß- und Schwefelsäure durch Titration mit Permanganat unter Verwendung der von Dittler vorgeschlagenen Versuchsanordnung. Magnesium wurde vorwiegend als Phosphat gewogen, doch gab auch die Fällung durch Oxy-Chinolin gute Werte, wenn dafür Sorge getragen wurde, daß in der zum Fällen verwendeten Lösung nicht mehr als 5—10 mg MgO vorhanden waren.

Die Alkalibestimmung wurde nach Lawrence-Smith vorgenommen; die Kaliwerte wurden z. T. flammenphotometrisch nach dem Verfahren von Schuhknecht-Waibel [75, 85] kontrolliert. Die Wägung des Wassers erfolgte im Penfieldröhrchen.

CO₂ wurde meist indirekt nach der Boraxmethode bestimmt, in einigen Fällen direkt durch Absorption in Kalilauge. Zur Absorption der Feuchtigkeit in der Apparatur ist blaues Silikagel besonders geeignet, da es durch Wasseraufnahme rot wird. Bei sorgfältigem Arbeiten erhält man übrigens mit der Boraxmethode ebenso gute Werte wie durch Absorption.

Die Phosphorsäure wurde zunächst mit Ammonmolybdat gefällt, der Niederschlag wieder aufgelöst, und die Phosphorsäure in Form von Magnesiumpyrophosphat gewogen. Chlor wurde im wäßrigen Auszug des Sodaaufschlusses als AgCl gefällt und als solches gewogen.

Tabelle 33.

Chemische Analysen vom Derenburger Löß.

I. Anal. H. Jung, II. Anal. R. Kunze.								
	Gew.-%		Mol.-Zahlen		Mol.-Zahlen × 1000		Niggli-Werte	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
SiO ₂	68,18	64,8	1,1352	1,0789	1135,2	1078,9	si 370	284
Al ₂ O ₃	7,80	6,9	0,0765	0,0677	76,5	67,7	al 24,8	17,8
Fe ₂ O ₃	1,78	4,7	0,0112	0,0294	68,2 ¹⁾	110,9	fm 22,1	29,2
FeO	0,41	n. b.	0,0057	n. b.				
MgO	1,54	2,1	0,0385	0,0521				
MnO	0,10	n. b.	0,0016	n. b.				
CaO	6,92	7,3	0,1234	0,1302	123,4	130,2	c 40,0	34,3
Na ₂ O	1,15	2,5	0,0186	0,0403	40,4	71,1	alk 13,1	18,7
K ₂ O	2,05	2,9	0,0218	0,0308				
H ₂ O ⁻	1,43	0,9	0,0794	0,0500			k 0,54	0,43
H ₂ O ⁺	1,29	2,3	0,0719	0,1277			mg 0,56	0,47
CO ₂	6,25	5,6	0,1421	0,1273			co ₂ 46,4	33,5
SO ₃	0,07		0,0009				ti 3,23	
TiO ₂	0,79		0,0099				p 0,29	
ZrO ₂	0,02							
P ₂ O ₅	0,12		0,0009					
Cl ₂	0,0066							
Selt.								
Erden	0,001							
Jod	0,0001679							
Organ.								
Subst.	0,32							
	100,22	100,0						

Um die seltenen Erden bestimmen zu können, mußte von einer großen Einwaage ausgegangen werden (1 kg). Bekanntlich sind die seltenen Erden in

¹⁾ Alles Eisen als FeO berechnet!

Calciten weit verbreitet; im Meerwasser und den Kalkschalen mariner Organismen sind diese Elemente immer zu finden. Wegen ihres verhältnismäßig stark basischen Verhaltens gehen die Lanthaniden und Yttrium im sedimentären Kreislauf in merkbaren Mengen in die Karbonate ein. Die eingewogene Probe wurde zunächst mit $n/1$ HCl (3 Liter) behandelt, um die Karbonate restlos zu zerstören. Nach dem Filtrieren wurden in der salzsauren Lösung die seltenen Erden mit Oxalsäure ausgefällt, abfiltriert und gewogen. In einer zweiten Probe (ebenfalls 1 kg) wurden die seltenen Erden zusammen mit Eisen, Aluminium und Titan ausgefällt und nach dem Auflösen in Salzsäure ebenfalls mit Oxalsäure gefällt. Die erhaltenen Werte sind 0,00104% und 0,00096%, Mittelwert 0,001% seltene Erden. Es ist anzunehmen, daß durch die Behandlung mit Salzsäure die gesamte Menge an seltenen Erden erfaßt worden ist, da diese Elemente des Kalzium vertreten und dieses fast ausschließlich in Form von Karbonaten gebunden ist.

Umfangreiche Vorarbeiten erforderte die Jodbestimmung. Nach mancherlei Versuchen erwies sich die von Wilke-Dörfurt [88] angegebene Methode als recht geeignet. Einige Abänderungen ergaben sich auf Grund der Eigenart des Untersuchungsmaterials. Die Reinigung der Chemikalien erfolgte nach den Vorschriften von v. Fellenberg [25]. Andere wertvolle Angaben wurden dem Handbuch von Gmelin-Kraut [31] entnommen.

Der Analysengang war folgender: Durch konz. Schwefelsäure wurde der Löß aufgeschlossen, das entweichende Jod in Kaliumkarbonatlösung aufzufangen, mit Permanganat zu Jodat oxydiert und nach Zusatz von KJ und Säure mit $n/500$ -Thiosulfat titriert. Nach der Gleichung: $\text{KJO}_3 + 5\text{KJ} + 6\text{HCl} = 3\text{J}_2 + 6\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$ entsteht auf diese Weise 6mal soviel Jod als in der Substanz vorhanden ist. Es können also noch recht kleine Mengen erfaßt werden. Auch nach der Vorschrift von v. Fellenberg [25] wurde der Jodgehalt ermittelt, da anzunehmen war, daß durch konz. Schwefelsäure nicht alle Mineralien aufgeschlossen worden waren. Es ergab sich jedoch praktisch der gleiche Wert.

Die Jodbestimmungen erfolgten an dem Material, das wochenlang an der Luft zum Trocknen gelegen hatte. Es ist daher durchaus nicht sicher, ob der angegebene Wert auch für den bergfeuchten Löß gilt. Zur Beurteilung der therapeutischen Wirkung ist eine größere Anzahl von Jodbestimmungen auch am Material der Handelspackungen vorgesehen.

Die organische Substanz im Derenburger Löß ist bereits von Benade [7] bestimmt worden; hierbei wurde der Gehalt an organischem Kohlenstoff ermittelt und dieser in Humus umgerechnet.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der chemischen Analyse der Durchschnittsprobe zusammengestellt. Die einzelnen Bestimmungen wurden doppelt, manche auch dreimal ausgeführt, um möglichst sichere Werte zu erhalten. Zum besseren Vergleich mit anderen Analysen wurden auch die Niggli-Werte berechnet. Eine genaue Betrachtung der Analysenergebnisse zeigt, daß wir es hier mit einem normalen Löß zu tun haben [35]. Zwischen den beiden mitgeteilten Analysen bestehen allerdings einige erhebliche Abweichungen. Während die Kieselsäure in der alten Analyse zu niedrig bestimmt worden ist, ist der Wert für die Summe der Sesquioxide zu hoch; auch für MgO und CaO sind zu hohe Werte angegeben worden. Daß die Alkali-

werte zu hoch sind, wurde schon erwähnt. Diese Unterschiede kommen beim Vergleich der Niggli-Werte sehr deutlich zum Ausdruck. hauptsächlich scheint mir der Grund für die Abweichungen darin zu liegen, daß Kunze für seine Analyse bereits aufbereitetes Material benutzt hat.

3. Physiologische Löslichkeitsversuche.

Kunze [50] hat auch eine Art physiologischen Versuch durchgeführt, indem 10 g mit 100 ccm n/10 Salzsäure 3 Stunden bei 37—40° behandelt wurden (dies soll etwa den Bedingungen im Magen-Darmkanal bei therapeutischer Anwendung entsprechen). Er fand dabei folgendes: Unlösliches 83,6%, SiO₂ im KOH-Auszug des Rückstandes 1,3%, lösliche Kieselsäure 0,2%, lösliche Basen 8,1% (davon CaO 6,3%).

Dieser Versuch wurde unter den gleichen Bedingungen zweimal wiederholt und ergab 6,27% Lösliches (Rückstand also 93,73%!). Eine Probe von aufbereitetem Material ergab übereinstimmend 6,23%. Die Rechnung zeigte, daß die Kunzeschen Werte nicht stimmen können. In 10 g Löß sind nämlich etwa 1,4 g Karbonat vorhanden; um diese zu zersetzen, sind etwa 1 g HCl nötig. In 100 ccm n/10 HCl sind aber nur 0,36 g HCl enthalten. Da bei Kunze 6,3% CaO gelöst worden ist (Gesamtgehalt 7,3% CaO), muß er mit viel stärkerer Säure gearbeitet haben.

Bei dieser Gelegenheit wurde nachgeprüft, ob in der beim physiologischen Versuch erhaltenen Lösung auch Eisen in der zweiwertigen Form auftritt, da nur dieses therapeutisch wirksam ist. In der Tat zeigte es sich, daß ein beträchtlicher Teil des gelösten Eisens in dieser Form vorliegt (Titration mit Permanganatlösung). Daher zeigten die zunächst klar filtrierte Lösungen eine immer stärker werdende Trübung, bis sich schließlich ein brauner Niederschlag absetzte (an der Luft oxydiertes Eisen).

4. Löslichkeit der Durchschnittsprobe in Essig- und Salzsäure.

Außerdem wurden Löslichkeitsversuche mit stärkerer Salzsäure (1 ccm konz. HCl auf 100 ccm H₂O) und mit Essigsäure (50 ccm Säure

Tabelle 34.

Löslichkeit der Durchschnittsprobe in Essig- und Salzsäure.

	in Essigsäure	in Salzsäure
Kalt geschüttelt	13,5% (12,7%) ¹⁾	15,9%
1 Std. auf Wasserbad . .	14,8%	17,6%

¹⁾ Die Zahl in Klammern bezieht sich auf eine Probe aus der „Lehmschicht“.

+ 50 ccm Wasser) angestellt. Jedesmal wurde 1 g Löß eingewogen und 100 cm verdünnte Säure hinzugefügt. Die Ergebnisse sind nachstehend zusammengestellt.

5. Quarzbestimmung mit Borfluorwasserstoffsäure.

Die Bestimmung des Mineralbestandes mit optischen Methoden geht leicht und sicher bis 20 μ herunter. In der Schluffraktion kann man mit Hilfe der Beckeschen Linie den Quarz häufig hinreichend genau auszählen, doch ist damit ein erheblicher Aufwand an Mühe und Arbeit verbunden. Bei der röntgenographischen Untersuchung der Tonfraktion sind bis jetzt genaue Mengenangaben nicht möglich, wie bei der Auswertung des Röntgendiagramms erläutert worden ist. Um wenigstens den Quarz quantitativ zu erfassen, kann man die Borfluorwasserstoffsäure benutzen. Bei genau festgelegten Versuchsbedingungen werden von dieser alle Mineralien außer Quarz aufgelöst [52]. Dieses Verfahren ist zunächst in der Zementindustrie in Anwendung gekommen. Es ist in unserem Jenaer Institut eingehend geprüft worden, wobei es sich nicht nur für die gröberen Fraktionen, sondern gerade auch für die tonigen Anteile als brauchbar erwiesen hat. Wir haben damit den Quarzgehalt der verschiedensten Mineralgemenge bestimmt und mit den Werten verglichen, die auf optischem Wege ermittelt worden waren. Die Übereinstimmung war derart, daß es auch weiterhin zur Untersuchung feinkörniger Sedimente angewendet werden soll.

Es sind hierbei folgende Lösungen erforderlich: 1. Borfluorwasserstoffsäure, die man erhält durch Auflösen von 32 g reiner Borsäure in 75 ccm konz. Fluorwasserstoffsäure. Diese Lösung darf mit Calciumchlorid oder Bleinitrat keine Fluorreaktion mehr geben. 2. 2-n-Eisenchloridlösung. 3. Konz. Phosphorsäurelösung. Zu der im Platintiegel befindlichen Probe (0,15—0,20 g) werden 5 ccm Borfluorwasserstoffsäure, 2 ccm Eisenchloridlösung und 1 ccm Phosphorsäure hinzugefügt und 48 Stunden lang bei 50° erwärmt. Wenn die gelbe Farbe des Eisenchlorids allmählich verblaßt, setzt man noch etwas FeCl_3 -Lösung hinzu. Es ist notwendig, während des Versuchs mehrmals mit einem Platinspatel umzurühren¹⁾. Nach Beendigung der Reaktion wird die Lösung mit heißem Wasser verdünnt, durch ein Blaubandfilter gegossen und der Rückstand auf dem Filter mehrmals mit heißem Wasser ausgewaschen. Der Rückstand soll reiner Quarz sein. Da auch der Quarz von der Borfluorwasserstoffsäure etwas angegriffen wird, ist eine kleine Korrektur erforderlich (0,34% je Tag bei 50°). Sollte die zu untersuchende Probe sehr grobkörnig sein (größer als 0,1 mm), so ist zu empfehlen, den Rückstand nochmals in der angegebenen Weise zu behandeln; daselbe gilt, wenn viel Orthoklas oder saurer Plagioklas vorhanden ist.

¹⁾ Zwei- bis dreimal genügt. Kontrollversuche haben gezeigt, daß häufigeres Rühren ohne Einfluß ist. Auch ist es belanglos, ob man 0,2 oder nur 0,15 g einwägt. Dagegen ist die Korngröße ab etwa 50 μ von Einfluß. Es ist daher zu empfehlen, die Probe von 100—50 μ vorher in der Achatschale zu zerkleinern.

Beim Derenburger Löß ergab sich für die Durchschnittsprobe auf diesem Wege 43,92% Quarz, während die mikroskopische Untersuchung der einzelnen Fraktionen 44,96% ergeben hatte. Die Übereinstimmung ist also befriedigend.

Bei dieser Gelegenheit wurden zwei Proben von Montmorillonit auf ihren Quarzgehalt untersucht. Bei der ersten Probe handelt es sich um den gelben Montmorillonit vom Dolmar bei Meiningen [39]; die zweite Probe stammt von Unterrupsroth in der Rhön und ist von F. Heide [36] analysiert worden. Die chemische Analyse des Montmorillonits vom Dolmar hatte für das Verhältnis $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ 5:1 ergeben, während neuerdings fast allgemein 4:1 angenommen wird. Der Aufschluß mit Borfluorwasserstoffsäure ergab 2,7:1. Der Montmorillonit von der Rhön zeigte einen Rückstand von nur 2%. Bei diesem Montmorillonit, der vielfach zu vergleichenden Untersuchungen herangezogen worden ist, handelt es sich also um sehr reines Material. Heide gibt für $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ gleich 3,69:1 an. Der Chemismus des Montmorillonits ist erheblichen Schwankungen unterworfen, und selbst die besten Analysen ergeben nur sehr angenähert für $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ das Verhältnis 4:1. Diese Schwankungen erklärt Heide dadurch, daß der Montmorillonit kein einheitliches Mineral, sondern ein Gemenge von Kaolin und Kieselgel sein soll. Auch ich bin der Ansicht, daß der Montmorillonit bei seiner Entstehung von Kieselsäurelösung durchtränkt worden ist. Da nun die amorphe Kieselsäure allmählich in die kristalline Form übergeht, werden sich auch die kolloidchemischen Eigenschaften entsprechend ändern. So wäre es auch erklärlich, daß der Rhön-Montmorillonit teilweise ein anderes kolloidchemisches Verhalten zeigt als der Montmorillonit vom Dolmar, und daß Anfärbeversuche (z. B. mit Benzidin) bei verschiedenen Montmorilloniten verschieden verlaufen. Doch soll auf diese Fragen hier nicht weiter eingegangen werden.

6. Chemische Untersuchungen der Fraktionen der Durchschnittsprobe.

Außer der Bauschanalyse der Durchschnittsprobe wurden Analysen von den nach dem Atterberg-Verfahren erhaltenen Fraktionen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 35 zusammengestellt. Man sieht, daß die Kieselsäure der vorherrschendste Bestandteil ist, der mit fallender Korngröße kontinuierlich abnimmt. Umgekehrt steigt die Tonerde von der größten zur feinsten Fraktion erheblich an, im gleichen Sinne ändert sich der Eisengehalt. Calcium und Magnesium nehmen bis zur Schlufffraktion zu, um dann in der Tonfraktion einen kleineren Wert anzunehmen. Die Alkaliegehalte schwanken, sie erreichen den höchsten Wert in der Schlufffraktion, in der auch der Titangehalt und die Summe $\text{H}_2\text{O}^+ + \text{CO}_2$ am größten sind; diese Fraktion hat also den höchsten Gehalt an für die Pflanzen wichtigen Nährstoffen.

Einen vertieften Einblick in die chemischen Verhältnisse der Einzelfractionen erhält man, wenn man die Niggli-Werte miteinander vergleicht, die in Tabelle 36 verzeichnet sind. Bekanntlich werden hierbei 100 Basenmoleküle und das Verhältnis der darin ent-

haltenen Elemente betrachtet. Man sieht, daß mit abnehmender si-Zahl al bis zur Korngröße $2\ \mu$ abnimmt, um dann in der Tonfraktion sprunghaft anzusteigen. Während fm mit fallender Korngröße zunimmt, fällt alk in dieser Richtung stark ab. c erreicht den höchsten Wert in der Schluffraktion. k zeigt einen unregelmäßigen Verlauf, der demjenigen des mg entspricht. Wenn auch in den verschiedenen Fraktionen dieses oder jenes Element stark angereichert ist, so ist doch die Hauptmasse der Kieselsäure und aller Basen in der Fraktion $50-20\ \mu$ zu finden, da diese gewichtsmäßig bei weitem vorherrschend ist.

Der Quarzgehalt der einzelnen Fraktionen wurde wie beschrieben mit Borfluorwasserstoffsäure ermittelt. Der Quarz fällt von 62%

Tabelle 35.

Chemische Zusammensetzung (Gew.-%) der Atterberg-Fractionen der Durchschnittsprobe.

Korndurchmesser	100—50 μ %	50—20 μ %	20—2 μ %	< 2 μ %
SiO ₂	79,37	71,56	58,12	43,45
Al ₂ O ₃	5,25	6,66	8,45	18,03
Fe ₂ O ₃ + FeO	1,70	1,75	3,67	8,41
MgO	0,59	1,75	1,95	1,79
CaO	3,89	6,98	10,22	8,21
Na ₂ O	1,95	1,14	0,94	0,84
K ₂ O	2,49	2,18	3,02	1,97
H ₂ O ⁻	0,26	0,47	1,38	6,82
H ₂ O ⁺ + CO ₂	3,77	6,61	11,10	10,48
TiO ₂	0,67	0,69	0,98	0,50
Quarz (chemisch bestimmt)	99,94	99,79	99,83	100,50
Löslich in Essigsäure	62	50,3	30,6	4,8
	8,21	9,21	17,17	11,5

Tabelle 36.

Niggli-Werte für die Fraktionen der Durchschnittsprobe.

Korndurchmesser	100—50 μ %	50—20 μ %	20—2 μ %	< 2 μ %
si	578	402	237	142
al	28,4	21,9	20,3	34,8
fm	16,2	22,2	23,3	29,4
c	30,1	42,1	44,9	29,0
alk	25,3	13,8	11,5	6,8
k	0,47	0,56	0,68	0,60
mg	0,41	0,67	0,52	0,30

bis auf 4,8% ab, die Werte liegen auf einer ziemlich gleichmäßig abfallenden Geraden.

Die Löslichkeit in verdünnter Essigsäure gibt ziemlich genau den Gehalt an Kalkspat an. Dieser steigt bis zur Schluffraktion stark an, um dann in der Tonfraktion wieder erheblich kleiner zu werden.

Tabelle 37.

Untersuchungen an Proben aus verschiedenen Horizonten.

Horizont	H ₂ O ⁻ %	Löslich in verd. HCl %	Glühverlust %	Quarz %
5	1,15	13,56	9,71	47,0
4	1,07	11,63	8,91	46,6
3	0,99	12,92	9,61	45,7
2	0,74	9,38	8,10	47,2
1	1,14	8,90	8,68	48,1
Mittel	1,02	11,28	9,00	46,9
Durchschnittsprobe	1,43	11,16	8,92	43,9

7. Untersuchungen an Proben aus verschiedenen Horizonten.

Um über die Schwankungen im Chemismus des aufgeschlossenen Profils einen Einblick zu gewinnen, wurden Proben aus verschiedenen Horizonten auf Wassergehalt (unterhalb 110°), Glühverlust, Löslichkeit und Quarzgehalt untersucht und mit der Durchschnittsprobe verglichen.

Nach dem Ergebnis der Untersuchungen an den Schwermineralien war zu vermuten, daß auch in chemischer Hinsicht die helle Lößschicht gegenüber der unteren deutliche Unterschiede zeigen würde.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 37 zusammengestellt. Sie zeigen, daß nicht unbeträchtliche Schwankungen auftreten. Beim Wassergehalt ist dies von geringer Bedeutung, da die an der Luft getrockneten Proben zu verschiedenen Zeiten untersucht worden sind. Überraschend ist, daß die Löslichkeit (d. h. der Karbonatgehalt) von unten nach oben zunimmt und unter der humushaltigen Schicht den höchsten Wert erreicht. Entsprechend haben wir in den unteren Teilen des Profils den niedrigsten, in den oberen den höchsten Glühverlust.

Vergleicht man die aus den einzelnen Bestimmungen errechneten Mittelwerte mit den entsprechenden der Durchschnittsprobe, so erkennt man eine recht gute Übereinstimmung (abgesehen vom Wassergehalt). Bemerkenswert ist also, daß das Profil deutlich in zwei Teile zerfällt, so daß sich von Horizont 2 ab die einzelnen Werte nach oben zu sprunghaft ändern.

8. Die Bestimmung von Kalkspat neben Dolomit mit Hilfe von Kupfernitratlösung.

Die optische Untersuchung der mit verdünnter Salzsäure und Essigsäure behandelten Fraktionen hatte ergeben, daß noch ein oder mehrere Karbonate neben Kalkspat vorhanden sein müssen. Da durch die erwähnten Säuren fast nur CaCO_3 gelöst wird, muß der Gehalt an Kalkspat bei etwa 11% liegen, während sich aus dem Kohlensäuregehalt etwa 14% Karbonate für die Durchschnittsprobe errechnen. Demnach sind etwa 3% Dolomit zu erwarten. Zur Bestimmung des Dolomitgehaltes wurden Versuche mit Kupfernitratlösung vorgenommen.

O. Mahler [54] hatte gefunden, daß in der Umsetzungsgeschwindigkeit von Kalkspat und Dolomit mit Cu-Nitrat genügend große Unterschiede vorhanden sind, um damit eine Trennung dieser Mineralien zu erreichen. Das sich dabei bildende Reaktionsprodukt besteht nach Spangenberg [80] aus Gerhardtit $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ und Kupferlasur $(\text{CuCO}_3)_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. Man kann diese Substanzen mit Ammoniak und Ammonchlorid in Lösung bringen. Es ist also auf diese Weise möglich, Kalkspat aus dem Mineralgemenge restlos zu entfernen, da CaCO_3 eine vollkommene, Dolomit nur eine geringe und Magnesit praktisch überhaupt keine Umsetzung mit Cu-Nitrat zeigen.

Im vorliegenden Falle sind außer Karbonaten noch Tonminerale vorhanden. Bei der Behandlung mit Kupferlösung werden von diesen zweifellos beachtliche Mengen an Kupfer adsorbiert werden. Da jedoch anschließend eine längere Behandlung mit Ammonchlorid erfolgt, wird das Kupfer wieder verdrängt und durch NH_4 -Ionen ersetzt. Der ursprüngliche Ionenbelag an den Tonteilchen wird also verändert, da aber verhältnismäßig wenig Ton vorhanden ist, kann der Fehler vernachlässigt werden.

Wie schon Spangenberg (S. 548) ausdrücklich betont hat, sind die Umsetzungsgeschwindigkeiten wesentlich von der Konzentration der Kupferlösung und von der Zeit abhängig; auch die Korngrößen spielen eine Rolle. Zur Bestimmung des CaCO_3 -Gehaltes im Derenburger Löß wurde 1 g der Durchschnittsprobe mit 100 ccm Cu-Nitratlösung ($25 \text{ g Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ im Liter) bis zum Blasenwerfen erhitzt und anschließend noch eine Minute gekocht. Nach dem Absitzen des Niederschlages wurde durch einen gewogenen Glasfiliertiegel filtriert, ohne den Niederschlag aufzuwirbeln. Gegebenenfalls wird der auf das Filter gelangte Teil des Niederschlages mit ganz wenig Wasser wieder zurückgespült. Um den Niederschlag in Lösung zu bringen, wurden einige Versuche hinsichtlich der Konzentration der NH_4Cl -Lösung angestellt. Dabei ergab sich, daß eine Lösung am besten geeignet war, die auf 100 ccm 5 ccm konz. Ammoniak und 5 g Ammonchlorid enthielt (also etwa n- NH_4Cl). Der Niederschlag wurde mit 100 ccm dieser

Lösung 10 Minuten gekocht und anschließend durch den Glasfiltertiegel filtriert. Dann wurde mehrmals mit dest. Wasser ausgewaschen und bei 110° bis zur Konstanz erhitzt. Der Inhalt des Tiegels gibt die nicht umgesetzte Menge der Probe an, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß der Löß 1,43% H_2O - besitzt, das beim Erhitzen auf 110° verloren geht.

Auf diese Weise wurde ein $CaCO_3$ -Gehalt von 10,4—10,9% gefunden (Mittelwert 10,65%). Die Übereinstimmung mit dem durch Behandeln mit Salzsäure erhaltenen Wert ist also verhältnismäßig gut. Mahler [54] hatte gefunden, daß sich Dolomit im Gemenge mit Kalkspat zu durchschnittlich 10—15% auflöst. In unserem Fall sind nach der Berechnung 3,47% Dolomit vorhanden; gefunden wurden 3,29%. Die Abweichung beträgt demnach rund 5%. Auch aus den einzelnen Fraktionen wurde mit Hilfe von Essigsäure der $CaCO_3$ -Gehalt bestimmt und damit der Dolomitgehalt für die Durchschnittsprobe berechnet. Hier ist natürlich der Fehler erheblich größer; der gefundene Wert 2,99% weicht um 0,48 von dem berechneten ab.

9. Kolloidchemische Untersuchungen.

Diese Untersuchungen wurden ausgeführt, um den Löß hinsichtlich seines Sorptionsvermögens, das in erster Linie von den Tonmineralien abhängig ist, näher zu kennzeichnen. Die Auswertung der Röntgenaufnahme hatte gezeigt, daß sich der Mineralbestand der Tonfraktion nur ungenau bestimmen läßt. Daher wurde ja auch der Quarz auf andere Weise (mit Borfluorwasserstoffsäure) ermittelt. Früher war man der Ansicht, daß in der Tonfraktion ausschließlich Tonmineralien (Kaolin und Montmorillonit) vorkommen. In den letzten Jahren wurde jedoch festgestellt, daß auch der Glimmer (Muskovit) nicht nur am Aufbau der Bodenkolloide fast regelmäßig und meist in großer Menge beteiligt ist, sondern auch ein erhebliches Sorptionsvermögen besitzt. Da sowohl Glimmer als auch die übrigen Tonmineralien sich den Kationen gegenüber hinsichtlich der Sorption sehr verschieden verhalten (sie zeigen also selektive Sorption), sollte es möglich sein, in einem Mineralgemenge das Mengenverhältnis von Montmorillonit zu Glimmer auch kolloidchemisch zu bestimmen.

Die erforderlichen experimentellen Untersuchungen hat P. Schachtschabel [71, 72] vorgenommen. Dabei hat sich gezeigt, daß Montmorillonit auf diesem Wege viel genauer bestimmt werden kann als auf röntgenographischem Wege. Zunächst wurden Modellsubstanzen auf ihre Sorptionseigenschaften hin untersucht. Um den Anteil der beiden Mineralien an der Gesamtsorption einer Probe zu ermitteln, hat Schachtschabel diese mit einer Lösung von $Ca-NH_4$ -Azetat ausgewaschen (sowohl für Ca als auch für NH_4 0,05 n, zusammen also 0,1 n). Nach der Gleichgewichtseinstellung wurde das Verhältnis der sorbierten Ionen Ca und NH_4 und daraus der Anteil des Glimmers und des Montmorillonits

bestimmt. Das war deshalb möglich, weil der Glimmer fast ausschließlich das NH_4 , der Montmorillonit dagegen nur Ca adsorbiert. Den Anteil der organischen Substanz erhält man dadurch, daß man die Versuche einmal an einer mit H_2O_2 behandelten Probe und dann an einer unbehandelten Probe vornimmt. Durch H_2O_2 werden alle sorptionsfähigen organischen Kolloide zerstört.

Die Anwendung der Ca- NH_4 -Lösung hat jedoch gewisse Nachteile und bringt manchmal nicht unerhebliche Fehler mit sich. Vor allem können Böden, welche Kalziumkarbonat oder -sulfat enthalten, nicht untersucht werden, weil die Bestimmung der sorbierten Ca-Ionen neben den übrigen sehr schwierig und fehlerhaft ist. Durch verdünnte Säuren können die Karbonate nicht beseitigt werden, weil dadurch auch die Oberflächen der sorbierenden Teilchen verändert werden. Ferner schwankt das Verhältnis von Ca: NH_4 im Ionenbelag für gleiche Mineralien verschiedener Herkunft in ziemlich weiten Grenzen. Schachtschabel hat daher auf Grund weiterer Untersuchungen mit anderen Mischlösungen festgestellt, daß sich eine Mischlösung von BaCl_2 und MgCl_2 (je 0,05 n, Gesamtlösung 0,1 n) am besten eignet.

Die zu untersuchende Probe (10 g) wird mit 500 ccm dieser Mischlösung in einem Filterröhrchen durchgewaschen. Die überschüssige Mischlösung wird durch Gewichts Differenz und dann die auf dem Filter befindlichen Ionen bestimmt. In Tabelle 38 sind die Werte für die uns hier interessierenden Mineralien eingetragen. Diese Werte bedeuten nicht die absoluten Mengen an Ba und Mg in mval, sondern den prozentualen Anteil des Ba an der Summe Ba + Mg. Im Gleichgewicht mit jener Mischlösung besteht der Ionenbelag des Montmorillonits zu 57% aus Ba und zu 43% aus Mg, beim Glimmer sind es 91% Ba und 9% Mg. Kaolin kann wegen seines niedrigen Sorptionsvermögens unberücksichtigt bleiben.

Die Durchschnittsprobe vom Derenburg Löß wurde von Schachtschabel auf die angegebene Weise untersucht; sie ergab eine Sorptionskapazität von 11,8 mval (Ba + Mg) für 100 g Löß. Daraus berechnet sich: Montmorillonit 8—10%, Glimmer in sorptionsfähiger Form ebenfalls 8—10%. Aus dem Sorptionsvermögen auf die absolute Menge der beteiligten Mineralien zu schließen, ist allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich, nämlich dann, wenn die Sorptionskapazität dieser Stoffe bekannt ist. Sonst können derartige Berechnungen mit einem erheblichen Fehler behaftet sein. So zeigte das Mineral von Unterrupsroth, das vielfach als typischer Vertreter des Montmorillonits angesehen wurde, ein von den anderen Montmorilloniten abweichendes kolloidchemisches Verhalten (Tabelle 38). Schachtschabel konnte weiterhin nachweisen, daß der Ton von Sarospatak, welcher röntgenographisch von Mägdefrau und Hofmann [72] als Glimmer identifiziert wurde, kolloidchemisch sich wie Montmorillonit verhielt¹⁾. Allerdings kann man einwenden, daß in diesen beiden Fällen besondere genetische Umstände vorliegen. Andererseits stimmt aber der hydrothermal gebildete Montmorillonit vom Dolmar [39] mit dem Geisenheimer überein. Im vorliegenden

¹⁾ Daß nur die Oberflächen sich wie Montmorillonit verhalten, ergibt sich daraus, daß durch Mahlen die kolloidchemischen Eigenschaften in Richtung des Glimmers verändert werden.

Tabelle 38.

Sorption von Ba in Prozenten von Ba + Mg (mval) aus einer Mischung von $BaCl_2/MgCl_2$ (nach P. Schachtschabel).

Mineral	T-Wert	% Ba
Montmorillonit (Geisenheim) .	80	56,4
„ (Dolmar) . .	100	57,0
„ (Unterrupsroth)	110	63,8!
Kaolin (Zettlitz)	7	60,8
Schönhaider Kapselerde . . .	4	61,2
Muskovit (Norwegen)	22	90,8
„ (Schwarzenbach) .	20	86,0
Biotit (Fundort?)	30	89,6

Fälle dürfte es wohl richtig sein, wenn wir den Ionenbelag des Montmorillonits mit 57% Ba ansetzen. Während die Sorptionskapazität des Montmorillonits einigermaßen konstant ist, scheint dieser Wert bei Glimmer nach den Untersuchungen Schachtschabels in weiten Grenzen zu schwanken. Wenn sich aus den kolloidchemischen Untersuchungen neben 8—10% Montmorillonit 8—10% Glimmer ergeben hat, so ist der letztere Wert nur mit Vorbehalt weiter zu verwenden.

Angenommen, der für Glimmer angegebene Wert sei richtig, so haben wir im Derenburger Löß wenigstens 16% adsorptionsfähige Mineralien, was für einen Löß recht beachtlich ist. Der eigentliche Tonanteil ($< 2 \mu$) beträgt nach der Schlämmanalyse nur 6,86%. Da dieser etwa 20% Quarz + Kalkspat enthält, kommen für den Glimmer + Montmorillonit, bezogen auf den Gesamtlöß, nur 5,49% in Betracht. Da nun der Montmorillonit allein schon 8—10% ausmacht, wird man zunächst annehmen müssen, daß sich auch in den größeren Fraktionen erhebliche Mengen an sorptionsfähigen Tonmineralien vorfinden. Die adsorbierenden Mineralien in der Schluffraktion machen rund 25% aus, bezogen auf die Gesamtzusammensetzung 6,25% Schluff- und Tonfraktion ergeben also zusammen rund 12% an sorbierenden Mineralien¹⁾. Rechnet man noch den Glimmergehalt der Fraktion 50—20 μ hinzu, so kommt man zu 13,2%.

Bemerkenswert ist also, daß in allen Korngrößenklassen adsorbierende Teilchen vorhanden sind. Aus folgender Überlegung ergibt sich ferner, daß ein Teil des Glimmers sich kolloidchemisch wie Montmorillonit verhält. Rechnet man nämlich den chemisch bestimmten Montmorillonitgehalt der einzelnen Fraktionen zusammen, so findet

¹⁾ In Übereinstimmung mit Correns [2] ist es daher berechtigt, die Grenze zwischen Peliten und Psammiten nicht bei 2 μ , sondern bei 20 μ zu legen.

man nur etwa 6%. Da kolloidchemisch jedoch mindestens 8% ermittelt worden sind, muß auch der Glimmer (vor allem der Tonfraktion) die Oberflächeneigenschaften des Montmorillonits besitzen (vorausgesetzt natürlich, daß im Löß kein Montmorillonit vorhanden ist, der sich durch außergewöhnliches Sorptionsvermögen auszeichnet). In der Tat zeigt sich, daß Glimmer + Montmorillonit der Tonfraktion und der Montmorillonit der Schlufffraktion zusammen 7,99% ergeben.

Während wir durch optische, chemische und röntgenographische Untersuchungen feststellen können, welche Mineralarten in der betreffenden Probe vorhanden sind, erhalten wir durch Sorptionsuntersuchungen Aufschluß über die Oberflächenbeschaffenheit der Mineralteilchen, d. h. über die Aktivität der Teilchen. Die verschiedenen Untersuchungsmethoden ergänzen sich daher ausgezeichnet. Der Mineralbestand ist ausschlaggebend für die „nachschaffende“ Kraft des Bodens, für die Nährstoffreserve; die Sorptionseigenschaften geben uns Einblick in das gegenwärtige Leistungsvermögen der betreffenden Bodenart. Änderungen in der Beschaffenheit des Bodens kommen in erster Linie im Sorptionsvermögen zum Ausdruck.

Ganz kurz sei auf die Beziehungen des Glimmers zum Montmorillonit hingewiesen, da, wie schon erwähnt, der Glimmer sich hinsichtlich der Sorption wie Montmorillonit verhalten kann. Die Entstehung von Montmorillonit ist an alkalische Reaktion bzw. an die Gegenwart von Mg-Ionen gebunden; Kaolin dagegen kann bei saurer Reaktion entstehen. Im vorliegenden Falle ist die etwa vorhandene Bodenlösung alkalisch; dadurch und wegen des Vorhandenseins von Mg-Ionen könnte Montmorillonit entstehen. Die Versuche Schachtschabels an verschiedenen Proben lassen auf die Wahrscheinlichkeit schließen, daß sich Muskovit in Montmorillonit umwandeln kann. Das würde also bedeuten, daß die Schlufffraktion infolge ihres hohen Glimmergehaltes ständig zur Neubildung dieses wichtigen Tonminerals beitragen kann. Sehr erwünscht wären Untersuchungen darüber, wie unter anderen Verhältnissen (anderem p_H) sich die Beziehungen von Glimmer zu Montmorillonit gestalten.

Die Sorptionskapazität ist beim Derenburger Löß verhältnismäßig hoch; sie liegt zwischen der von Kaolin und Glimmer. Das ist nicht nur für die Bodenbildung, sondern auch für die Heilkunde von großer Bedeutung. Während die Tone mit Wasser quellen und undurchlässig werden, beim Austrocknen dagegen harte Klumpen bilden, bleibt der Löß wegen des Vorherrschens einer bestimmten Korngrößenklasse und wegen des hohen Quarzgehalts porös.

Daß die Sorptionskraft des Derenburger Lößes sehr hoch ist, haben schon Kunze und Vogel [50] durch ihre Versuche bewiesen. U. a. haben sie das Verhalten gegenüber Methylenblau in der Weise bestimmt, daß zu 10 ccm einer

0,1 prozentigen Methylenblaulösung 0,1 g Löß trocken zugegeben wurden. Dann wurde 1 Min. geschüttelt, wieder 0,1 g hinzugegeben und abermals eine Minute geschüttelt und dieses Verfahren wiederholt, bis Entfärbung eintrat. Je nach der Aufbereitung des Lößes waren 5—6 mal 0,1 g Löß zur Entfärbung nötig. Eine Probe, die mit HCl bis zur Erschöpfung behandelt worden war, zeigte eine erhöhte Sorptionskraft (4 mal 0,1 g). In erster Linie ist dies durch Erhöhung des prozentualen Anteils der Tonminerale infolge Herauslösens des Kalkspats bedingt. Daß daneben durch CaCO_3 verkittete Teilchen auseinanderfallen und damit die adsorbierende Oberfläche vergrößern, ist denkbar ebenso, daß durch Zersetzung amorphe Kieselsäure frei wird, die eine vorzügliche Sorptionswirkung besitzt. Nach den Untersuchungen von Kunze, Vogel u. a. werden Darmgifte, Koffein und Nikotin stark adsorbiert.

Die Versuche mit Methylenblau legten den Gedanken nahe, Anfärbeversuche damit oder mit anderen organischen Stoffen zu unternehmen, um die Tonminerale quantitativ zu bestimmen. Da aber zur Zeit derartige Versuche nicht zu genügend genauen Ergebnissen führen, konnte darauf verzichtet werden.

10. Spektralanalytische Untersuchungen.

Die Aufnahmen erfolgten nach der Methode von Man n k o p f f und Peters [55] mit der Apparatur, die E. Preuß [63] zu seinen Tektituntersuchungen benutzt hat. Hierbei wird von der Bogenentladung das Glimmlicht direkt vor der Kathode ausgenutzt, da die Spektrallinien hier die höchste Intensität zeigen (verglichen mit der übrigen Gassäule eine 10—70 mal größere Intensität); überdies zeichnet sich die Glimmschicht durch große Gleichmäßigkeit der Spektrallinien aus. Mit dem Analysenspektrum wurde gleichzeitig das Eisenspektrum aufgenommen, indem das Licht der seitlich aufgestellten Eisenbogenlampe durch ein kleines Prisma auf einen Teil des Spaltes geworfen wurde. Die Beleuchtung des Spektrographen erfolgte durch Abbildung auf den Spalt.

Der zu untersuchende Löß wurde mit Schwefelsäure behandelt, um die Karbonate zu zerstören. Nach gründlichem Durchmischen wurden 3 mg auf einem gefalteten Glanzpapierstückchen abgewogen und in die Bohrung der Kohle gefüllt. Außerdem wurde der beim physiologischen Versuch in $n/10$ HCl gelöste Anteil durch Verdampfen der Lösung wieder gewonnen und davon ebenfalls Spektralaufnahmen hergestellt.

Die Kohlen waren mit der von Preuß erprobten Apparatur gereinigt worden; sie wurden vor jeder Aufnahme durch einen Lichtbogen von 15—20 Amp. (10—15") nochmals gereinigt und damit zunächst das Kohlespektrum aufgenommen. Darunter folgte das Spektrum der zu untersuchenden Probe bis zum Abbrand (3½ Min. Belichtung). Außerdem wurden kürzer belichtete Spektrogramme aufgenommen, um die Suche nach Spurenelementen zu erleichtern. Während Ga, Ge, Pb und Sn in der ersten Aufnahme auftreten, machen sich die Erdalkalien, V, Ti und Zr erst gegen den Schluß bemerkbar.

Zur Auswertung der Aufnahmen wurden die Tafeln des Eisenspektrums von Gatterer und Junkes [30] und von Gößler [33] sowie die Analysentabellen von Kayser [43] und F. Löwe [53] benutzt. Die Ausmessung der Platten wurde ausschließlich mit dem Spektrenprojektor (Fa. C. Zeiss) durchgeführt, der bei 20facher Vergrößerung ein sehr bequemes Arbeiten gestattet. Die quantitative Auswertung, deren Ergebnisse Tabelle 39 zeigt, erfolgte teils nach der Methode der Vergleichsspektren, teils unter Benutzung von homologen Linienpaaren. Den Borgehalt hat Preuß [63] bestimmt; hierzu wurden Elektroden aus borfreiem Elektrolytkupfer verwendet.

Tabelle 39.

Spektralanalytische Untersuchungen.

%		%	
Borsäure B_2O_3	0,03	Nickel	0,005
Chrom Cr	0,02—0,05	Gallium Ga	0,005
Strontium Sr	>0,01	Zinn Sn	<0,001
Vanadium V	0,01	Blei Pb	<0,001
Zirkonium Zr	0,01	Seltene Erden	0,001
Kupfer Cu	0,001—0,01	Lithium Li	nachweisbar
Barium Ba	<0,01		

Der Gehalt an Borsäure ist verhältnismäßig hoch. Da die größeren Fraktionen nur ganz untergeordnet Turmalin führen, muß die Borsäure in der Tonfraktion stecken. Ihr Gehalt an Borsäure beträgt rund 0,5%; das ist ein Wert, wie er bei gewöhnlichen Tönen nicht vorkommt, dagegen bei Salztonen üblich ist. Es wurde daher zunächst vermutet, daß das Bor im Kalkspat steckt, vielleicht als Borat der seltenen Erden. Als jedoch der beim physiologischen Versuch erhaltene Anteil mit borfreien Kupferelektroden spektralanalytisch untersucht wurde, zeigten sich keine Borlinien. Dieses Element muß also in schwerlöslicher Form in der Tonfraktion gebunden sein. Auch der Chromwert ist ziemlich hoch. Der Strontiumgehalt ist nicht überraschend, da er fast ausschließlich im Kalkspat steckt und dieser nach Noll [61] bis 0,14% SrO aufweisen kann.

Auch der beim physiologischen Versuch gelöste Anteil wurde spektralanalytisch untersucht, nachdem die Lösung zur Trockene verdampft worden war. Die darin festgestellten Elemente sind folgende: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, Mn, P, Sr, Ba, Cu, Seltene Erden, V? Die Elemente Si bis K sind schon von Kunze und Vogel [50] durch quantitative chemische Analyse ermittelt worden.

Demnach ist der menschliche Körper in der Lage, eine Anzahl wichtiger Elemente bei innerem Gebrauch aus dem Löß aufzunehmen. Davon ist das Barium durch seine giftige Wirkung bekannt; aber die tödliche Dosis beträgt für den Menschen 0,1 g $BaCl_2$ auf 1 kg Lebendgewicht (für einen 50 kg schweren Menschen demnach 5000 mg $BaCl_2$). Aus 100 g Löß können nun aber höchstens 15 mg $BaCl_2$ herausgelöst werden; in Wirklichkeit nimmt der menschliche Körper selbst bei ausgiebiger innerer Anwendung täglich nur wenige Milligramm $BaCl_2$ auf. Nachteilige Wirkungen dürften also wohl nicht zu erwarten sein. Man könnte bei diesen homöopathischen Mengen eher an günstige Wirkungen denken, da die Salze des Bariums wegen ihrer digitalisähnlichen Wirkung in der Heilkunde angewendet werden (als D4 und D6).

Es wurde auch festgestellt, wieviel SO_3 bei Einwirkung von $n/10$ HCl unter physiologischen Bedingungen gelöst wird. Für die Durchschnittsprobe ergab sich 0,0134% SO_3 , eine zwar kleine Menge, die aber wohl doch nicht ohne Bedeutung sein dürfte.

Schließlich wurde nachgewiesen, daß sich auch Jod in beachtlicher Menge in $n/10$ HCl löst. Um zu verhindern, daß Jod in Freiheit gesetzt wurde (und damit womöglich verloren ging), wurde der Salzsäure nach dem Vorschlage von v. Fellenberg [25] auf 1 Liter Säure 2 g Bisulfit zugesetzt.

11. Chemische Untersuchungen einer „Lößpuppe“.

Wie später gezeigt wird, treten Lößpuppen, die als Konkretionen gedeutet werden könnten, nicht auf. Dagegen treten Kalkbrocken, die vom Wasser hereingespült worden sind, in großer Zahl auf. Ein solches Kalkgebilde, das äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Lößpuppe hatte, wurde zunächst mit Salzsäure behandelt, um den Gehalt an Karbonat zu bestimmen (10 g Einwaage, 20 ccm konz. HCl auf 200 ccm verdünnt). Es wurden 73,4% CaCO_3 gelöst. Dolomit ist anscheinend nicht vorhanden. Bei Lößkonkretionen, die Graf zu Leiningen [51] aus der Umgegend von Wien untersucht hat, haben sich ähnliche Werte ergeben (Braunsberg 76,57% CaCO_3 , Ober-Eßlingen 68,84%, Polen 76,41).

Die quantitative Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2 19,05%, Al_2O_3 1,90%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 0,86%, MgO 0,52%, CaO 41,60%, Na_2O 0,60%, K_2O 1,08%, H_2O^- 0,34%, $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}^+$ 33,66%, TiO_2 0,36%.

Die Hauptkomponenten sind Kalk und Kohlensäure. Verhältnismäßig hoch ist auch der Alkaligehalt, der im wesentlichen im Glimmer untergebracht sein dürfte. Nach der Überschlagsrechnung würde der tonige Anteil der Kalkstückchen nur aus Quarz und Glimmer bestehen, ein Fall, der gar nicht so selten ist.

Wenn nun solche Kalkbröckchen zerfallen und das CaCO_3 in Lösung geht, kann es also zu einer Anreicherung der Tonsubstanz (oder besser gesagt des Glimmers) kommen, ohne daß eine eigentliche chemische Verwitterung erfolgt. Ich möchte glauben, daß bei den meisten Lößen ein großer Teil der Tonfraktion Auflösungsrückstände der ursprünglich vorhanden gewesenen tonhaltigen Kalksteinstückchen darstellt.

12. Die Beschaffenheit der „Lehmschicht“.

Bekanntlich wird den Verlehmungszonen in den Lößprofilen große Beachtung geschenkt. Meist nimmt man an, daß diese Zonen

auf Unterbrechungen der Ablagerung des Lößstaubes hinweisen, und daß sie infolge langandauernder Verwitterung der oberflächennahen Lößschichten unter Mitwirkung von Pflanzen entstanden sind. Es handelt sich nach dieser Ansicht um fossile Böden, die unter anderen klimatischen Bedingungen entstanden sind als der damit zusammen vorkommende Löß.

Bei der Gewinnung des Derenburger Lößes war aufgefallen, daß sich im Liegenden eine Schicht vorfindet, die im feuchten Zustande viel plastischer erscheint als der darüber liegende Löß. Daher wird sie von den Arbeitern als „Tonschicht“ bezeichnet. Da diese Schicht nicht sehr mächtig ist und beim Abbau unberücksichtigt bleibt, war es nicht meine Absicht, darüber ausführliche Untersuchungen anzustellen. Dagegen hat sie in genetischer Hinsicht Bedeutung, und deshalb wurden einige Untersuchungen vorgenommen, um klarzustellen, ob wirklich eine Verwitterungsschicht vorliegt, oder ob diese Schicht primär angelegt ist.

Mit Salzsäure braust das Material stark auf. Mit warmer Essigsäure wurde der Gehalt an Karbonat bestimmt und zu 12,7% gefunden. Hatte schon das Ergebnis der Schlämmanalyse nach Atterberg ($< 2 \mu = 13,4\%$) gezeigt, daß der Tongehalt zwar höher als beim Durchschnittslöß ist, aber immer noch nicht ausreicht, um von einem Lehm, geschweige denn von einem Ton reden zu dürfen, so zeigte der hohe Kalkspatgehalt ebenfalls, daß es sich nicht um eine Verwitterungsschicht handeln kann.

Es wurde nun noch eine quantitative chemische Analyse angefertigt, deren Ergebnisse nachstehend zusammengestellt sind: SiO_2 65,49%, Al_2O_3 9,47%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 2,54%, MgO 1,51%, CaO 6,86%, Na_2O 1,75%, K_2O 2,55%, H_2O^- 1,09%, $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}^+$ 7,38%, TiO_2 1,37%, Sa. 100,01%.

Vergleichen wir diese Werte mit denen der Durchschnittsprobe, so findet man fast durchwegs gute Übereinstimmung. Nur SiO_2 , Al_2O_3 und die Alkalien zeigen Abweichungen (für Löß SiO_2 68,18%, Al_2O_3 7,80%, Alkalien 3,20%). Diese Unterschiede sind ein Hinweis dafür, daß in der Lehmschicht Muskovit stärker angereichert ist als im übrigen Löß.

Mit diesen Untersuchungen ist der Beweis erbracht, daß sich die sog. Lehmschicht weder in der Korngrößenverteilung, noch im Chemismus erheblich vom gewöhnlichen Löß unterscheidet. Allenfalls darf man daher von einem schwach lehmigen Löß sprechen, nicht aber von Lehm oder Ton, denn die erhaltenen Werte entsprechen durchaus denen eines frischen Lößes.

V. Berechnung des Mineralbestandes aus der chemischen Analyse.

Die Berechnung des Mineralbestandes aus der chemischen Analyse liefert nur dann einwandfreie Ergebnisse, wenn die Zusammensetzung der im Gemenge vorhandenen Komponenten bekannt ist. Man hat auf diese Weise die Möglichkeit, die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung nachzuprüfen. Bis zu einem gewissen Grade läßt sich der Chemismus der Bestandteile vom Derenburger Löß ermitteln; daher ist die Berechnung durchgeführt worden. Die Schwerminerale wurden nicht berücksichtigt, da sie mengenmäßig nicht ins Gewicht fallen. Die Aufteilung der Molekularzahlen ergibt sich aus der Tabelle 40.

Zunächst wurde die Phosphorsäure auf Apatit umgerechnet (10 CaO , $3 \text{ P}_2\text{O}_5$). Es ist anzunehmen, daß auch die geringe Menge Chlor an dieses Mineral gebunden ist.

Hinsichtlich der Alkalien wurde angenommen, daß das Kali im Glimmer und Alkalifeldspat, Natron dagegen nur im Natronfeldspat vorhanden ist; daher wurde sämtliches Na_2O in $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ umgerechnet. Um den im Plagioklas vorhandenen Anorthitanteil zu finden, wurde eine Probe Löß mit warmer verdünnter Salzsäure behandelt. Kalkspat und Dolomit gingen in Lösung, während der Plagioklas, da es sich um sauren Plagioklas handelt, praktisch unangegriffen im Rückstand blieb. Im Filtrat wurden 6,72% CaO bestimmt (die Durchschnittsprobe hat 6,92% CaO); demnach sind 0,2 Gew.-% auf $\text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ zu verrechnen.

Der Rest des Calciums ergab CaCO_3 . Da nicht alle Kohlensäure durch CaO gebunden werden konnte, wurde der Rest von CO_2 auf MgCO_3 verrechnet.

Bis hierhin ließ sich die Berechnung glatt durchführen. Unsicherheiten traten erst auf, als die Berechnung von Montmorillonit sowie die Aufteilung des Kalis auf Muskovit und Orthoklas erfolgen mußte. Außerdem mußte die Anwesenheit des Biotits berücksichtigt werden. Der Gehalt an H_2O^+ und H_2O^- konnte zur Berechnung nicht herangezogen werden, da ja in diesen Werten auch das Wasser der organischen Substanz steckt.

Für die weitere Aufteilung der Molekularzahlen wurde daher auf Grund der Sorptionsversuche ein Montmorillonitgehalt von 8% angenommen. Die Durchrechnung zeigte, daß selbst für den Fall, daß der Wert um $8 \pm 2\%$ schwankt, der Fehler nur unbedeutend ist. Da die Zusammensetzung des Montmorillonits sehr schwankend ist, wurden als Mittelwerte für SiO_2 und Al_2O_3 50% bzw. 23% angesetzt.

Berechnung des Mineralbestandes aus den Molekular-

Molekular- zahlen	1. Apatit	2. Albit	3. Anorthit	4. CaCO ₃	5. MgCO ₃	6. Mont- morillonit
SiO ₂ 1135,2	—	111,6	7,2	—	—	66,7
Al ₂ O ₃ 76,5	—	18,6	3,6	—	—	18,0
Fe ₂ O ₃ 11,2	—	—	—	—	—	—
FeO 5,7	—	—	—	—	—	—
MgO 38,5	—	—	—	—	25,3	6,0
MnO 1,6	—	—	—	—	—	—
CaO 123,4	3,0	—	3,6	116,8	—	—
Na ₂ O 18,6	—	18,6	—	—	—	—
K ₂ O 21,8	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻ 79,4	—	—	—	—	—	71,2
H ₂ O ⁺ 71,9	—	—	—	—	—	35,6
CO ₂ 142,1	—	—	—	116,8	25,3	—
TiO ₂ 9,9	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅ 0,9	0,9	—	—	—	—	—
Gew.-%	0,17	9,75	1,00	11,68	2,12	8,00

Fe₂O₃ wurde nicht in die Zusammensetzung des Montmorillonits einbezogen. Es hat sich nämlich gezeigt, daß durch Oxalsäure alles Eisen bis auf 0,13% ausgezogen werden kann. Daher ist anzunehmen, daß das Fe₂O₃ als Hydroxyd im Löß vorliegt.

Die Analysen des Montmorillonits zeigen beträchtliche Schwankungen im MgO- und H₂O-Gehalt (bei MgO zwischen 3 und 10%, bei H₂O zwischen 16 und 24%). Um hier einigermaßen sichere Grundlagen für die weitere Berechnung zu haben, wurde auf den Chemismus der Tonfraktion zurückgegriffen, da diese etwa zur Hälfte aus Montmorillonit besteht. Der in dieser Fraktion festgestellte MgO-Gehalt beträgt 1,79%, den man fast ausschließlich als an Montmorillonit gebunden betrachten kann (höchstens ist etwas Dolomit vorhanden, was aber unwahrscheinlich ist). Danach kann der Montmorillonit höchstens etwa 3,5% MgO enthalten. Für die Berechnung wurde 3% MgO eingesetzt. Daß ein Mg-armer Montmorillonit vorliegen muß, ergibt sich auch aus dem Röntgendiagramm [39].

Für den Wassergehalt bleiben 24% = 106,7 Moleküle übrig. Wie hierbei das Verhältnis von H₂O⁺ zu H₂O⁻ ist, soll nach Berechnung des Glimmers gezeigt werden. Von einer Embeziehung von CaO in die Zusammensetzung des Montmorillonits wurde abgesehen. Das verbleibende MgO wurde für die Berechnung des Biotits zugrunde gelegt (K₂O, Al₂O₃, 4MgO, 2FeO, 6SiO₂, 2H₂O).

belle 40.

ahlen der chemischen Analyse (Durchschnittsprobe).

7. Biotit	8. Muskovit	9. Orthoklas	10. Limonit	11. Quarz	12. Ilmenit	13. Rutil	14. Wad	15. Organ. Subst.
10,8	43,2	76,8	—	818,9	—	—	—	—
1,8	21,7	12,8	—	—	—	—	—	—
—	—	—	11,2	—	—	—	—	—
3,6	—	—	—	—	2,1	—	—	—
7,2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1,6	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,8	7,2	12,8	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	8,2
3,6	14,4	—	11,2	—	—	—	—	6,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	2,1	7,8	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,61	5,74	7,12	1,98	49,13	0,32	0,62	0,1	0,26

Um das Verhältnis von Orthoklas zu Muskovit zu finden, wurde folgender Weg eingeschlagen:

Es wurde zunächst festgestellt, wieviel Tonerde übriggeblieben war nach der Berechnung der bisher aufgeführten Mineralien. Ergebnis: $34,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$. Nimmt man nur Muskovit an, so müßten dazu 1,5 Kali vorhanden sein. Entsprechend erfordert die Umrechnung von Al_2O_3 in Orthoklas 34,5 Kali. Da der festgestellte Wert zwischen beiden liegt, müssen sowohl Muskovit als auch Orthoklas vorhanden sein, was auch den mikroskopischen Beobachtungen entspricht. Teilt man Al_2O_3 je zur Hälfte auf Orthoklas und Muskovit, so benötigt man 23 Kali, was dem festgestellten Wert sehr nahe kommt. Als richtiges Verhältnis wurde schließlich gefunden für Muskovit 21,7 und für Orthoklas 12,8 Al_2O_3 .

TiO_2 wurde an das restliche FeO gebunden zu Ilmenit. Der größte Teil des Titans tritt jedoch als Rutil auf (meist in Form von Einschlüssen). Magnetit brauchte nicht berechnet zu werden.

Entsprechend wurde auch der Mineralbestand der Fraktionen aus der Durchschnittsprobe errechnet. In Tabelle 41 sind die Werte für Feldspat und Quarz angegeben, die uns besonders interessieren.

In Anbetracht der Unsicherheiten, die derartige Berechnungen auf sich bergen, kann die Übereinstimmung mit den experimentell

gefundenen Werten als befriedigend bezeichnet werden. Hervorzuheben ist noch, daß die Fraktion 20—2 μ auf Grund der Analyse 14% Muskovit und 10% Montmorillonit aufweist.

Tabelle 41.

Berechneter Mineralbestand der Fraktionen der Durchschnittsprobe.

Korngrößenklasse	Albit %	Orthoklas %	Gesamtfeldspat %	Quarz %
0,1 — 0,05 mm	16,30	13,56	29,86	56,7
0,05 — 0,02 „	9,32	9,74	19,06	54,78
0,02 — 0,002 „	7,87	7,79	15,66	36,2
< 0,002 „	7,34	—	7,34	5,88

VI. Betrachtungen über die Entstehung des Derenburger Lößes.

(Diagenese, Ablagerung, Transport, Herkunft, Lößpuppen, Lehmschicht.)

Wenn man die Monographie von Scheidig [73] durchsieht, ist man überrascht, wieviele Entstehungsmöglichkeiten für den Löß in Betracht kommen. Zum Teil ist dies dadurch bedingt, daß der Löß als leicht bewegliches Gestein nach seiner ersten Ablagerung vielfach dem Spiel von Wasser und Wind erneut ausgesetzt war, und daß dadurch die ursprünglichen Kennzeichen der Entstehung mehr oder weniger verwischt worden sind. Jedes Lößvorkommen muß daher in genetischer Hinsicht für sich betrachtet werden. Was sich aus den vorstehenden Beobachtungen und Untersuchungen ergeben hat, gilt daher nur für den Derenburger Löß (streng genommen nur für den betreffenden Aufschluß bei Derenburg) und darf unter keinen Umständen verallgemeinert werden.

Bekanntlich geht die Entstehung eines Sediments folgendermaßen vor sich: 1. Zerkleinerung des Ausgangsmaterials, 2. Fortbewegung der löslichen und unlöslichen Anteile. 3. Ablagerung. 4. Diagenese (Verfestigung, Bildung von Konkretionen, Entkalkung u. a.). Je weiter diese Vorgänge zurückliegen, um so schwieriger ist es, genetische Aussagen zu machen. Im folgenden sollen daher die einzelnen Stadien, in denen sich die Ausbildung des jetzt vorliegenden Gesteins vollzogen hat, rückwärts verfolgt werden.

Diagenese. Durch diese Vorgänge können folgende Eigenschaften des Gesteins herausgebildet oder wenigstens beeinflußt worden sein: das Gefüge, der Mineralbestand und die Korngrößenverteilung. Fast allgemein wird angenommen, daß das Gefüge (hohes Porenvo-

lumen) durch die Wurzeln von Steppengräsern und durch die Verkittung der Mineralteilchen durch Kalkspat bedingt ist. In den Steppengebieten haben die Gräser den Lößstaub abgefangen; nach dem Absterben haben sich auf dem inzwischen darüber gelegten Staub immer wieder Gräser angesiedelt. Die sog. Röhrchentextur geht also auf die Graswurzeln, -stengel usw. zurück. Die Ablagerung des Staubes darf nicht zu rasch vor sich gehen, damit die Gräser immer wieder Gelegenheit haben, den Boden mit ihren Wurzeln zu durchziehen. Der so entstandene Löß ist eigentlich kein Gestein, sondern ein fossiler Boden [59], in einem semiariden Klima entstanden. Später hat sich unter semihumidem Klima die Schwarzerde daraus entwickeln können. Das hohe Porenvolumen des Lößes soll weiterhin durch die Verkittung der Mineralteilchen durch Kalkspat bedingt sein. Dieser Vorgang kann sich in den verschiedensten Stadien der Diagenese abgespielt haben.

Für unser Lößvorkommen trifft diese Art der Herausbildung der Textur nicht zu. Zunächst liegt die Hauptmasse des CaCO_3 noch in Körnerform vor. Auch die gelbgraue Farbe weist darauf hin, daß Umsetzungen im Löß sich nur in ganz geringem Maße vollzogen haben. Damit hat dieser Löß auch noch nicht die Festigkeit, die andere Vorkommen aufweisen. Die Poren sind zum großen Teil durch die Tätigkeit von Würmern bedingt. Man könnte einwenden, daß es sich um Wurzelröhrchen handelt, deren organischer Inhalt aber allmählich vollkommen zerstört worden ist. Wie sich gezeigt hat, ist unser Löß sicher unter Wasser abgesetzt worden; die Herausbildung der Röhrchentextur durch Gräser kommt demnach nicht in Betracht. Daß trotz des Fehlens der Kalkkrusten das Gefüge erhalten geblieben ist, ist durch die klebende Wirkung der Tonsubstanz bedingt, welche, da sie in koagulierter Form vorliegt, die Mineralteilchen fest umhüllt und miteinander verkittet.

Als eine charakteristische Erscheinung der Lößdiagenese werden die Lößpuppen betrachtet, bei denen es sich meist um Konkretionen handeln soll. Es soll nicht bestritten werden, daß solche Konkretionen im Löß wirklich vorkommen können. Hier handelt es sich jedoch um Gebilde, die so entstanden sind, wie es von Frantzen [28] in der Gegend von Meiningen beobachtet worden ist. Es sind Kalkbrocken, welche auf der jetzigen Lagerstätte umgebildet worden sind. Puppenartige Gebilde sind bei Derenburg überhaupt nur ganz selten gefunden worden. Man findet fast ausschließlich knollige, walzenförmige Gebilde, die innen gewöhnlich vollkommen dicht, mitunter aber septarienähnlich sind. Bei diesen aufgerissenen Stücken sind die äußeren Teile weiß und kreideartig, während das Innere noch die ursprüngliche graue Farbe aufweist. Die mikroskopische Untersuchung mehrerer

Dünnschliffe zeigte ein feinkristallines Aggregat von Kalkspat, innig vermennt mit Tonsubstanz.

Frantzen war der Ansicht, daß die Risse auf Austrocknung und Reißbildung in der umgebenden Masse, mit der die Brocken fest verbunden sind, zurückzuführen ist. Daneben hält er Frostwirkung für möglich. Das letztere scheint mir in unserem Falle die wesentliche Ursache zu sein, denn wegen der lockeren Beschaffenheit des Lößes und wegen des geringen Tongehaltes ist die Kohäsion zwischen Löß und Kalkstückchen sehr gering. Chemische Einwirkungen, wie sie Frantzen für das Zustandekommen der Lößpuppen noch annimmt, haben sich nicht abgespielt, höchstens, daß von der Oberfläche der Kalkstückchen etwas Kalk fortgeführt worden ist.

Mit einigen Worten soll noch auf die Lehmschicht, die an der Basis der Lößschicht liegt, eingegangen werden. Solche Schichten sind in Lößablagerungen sehr häufig, und da man sie meist als diagenetische Bildungen auffaßt, werden sie meist als „Verlehmungszonen bezeichnet. Wie schon auf S. 148 erwähnt, zeigt unsere Lehmschicht gegenüber dem Löß keine nennenswerten Unterschiede; es handelt sich also nicht um eine Verlehmungsschicht.

Auch der Mineralbestand vom Löß soll nach Ansicht mancher Forscher wenigstens z. T. diagenetisch bedingt sein. Daß der Löß für chemische Umsetzungen ohne Materialverlust sehr günstig ist, erklärt sich aus folgendem: Der Lößstaub hat ein verhältnismäßig hohes Porenvolumen. Die Niederschläge können also schwammartig aufgesaugt und festgehalten werden, um dann bei dem trockenen Klima wieder an Ort und Stelle zu verdunsten. Es kann also keine oder eine nur unwesentliche Auswaschung von Material (Alkalien, Erdalkalien, Kieselsäure) erfolgen.

Ganssen [29] nahm nun an, daß die Lößbildung nach Absatz des Lößstaubes auf folgende Weise vor sich ging: 1. durch völlige Hydratation (also Überführung in austauschfähige Bodenkolloide wie Montmorillonit) der vorhandenen Aluminiumsilikate und 2. durch Umkrustung der Bodenteilchen durch CaCO_3 . Ja, es sollten sich sogar primär im Lößstaub vorhandene kaolinartige Substanzen unter dem Einfluß der alkalischen Bodenlösungen (die übrigens beträchtliche Mengen an Kieselsäure führen) in austauschfähige Kolloide umwandeln können. Danach besteht ein echter, ausgereifter Löß im wesentlichen aus Quarz, Kalkspat und sorptionsfähigen Tonmineralien. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß Ganssen schon richtig erkannte, daß Kaolin nicht oder nur in ganz geringen Mengen im Löß auftreten kann. Nach neueren Untersuchungen von Noll [61a] liegen die Verhältnisse beim Löß ähnlich wie beim Basalt. Auch dort kann

sich der Montmorillonit nur dann bilden, wenn die alkalischen Verwitterungslösungen am Entstehungsort verbleiben können.

Im Derenburger Löß haben sich solch tiefgreifenden Umwandlungen wegen seines jugendlichen Alters noch nicht abgespielt. Wir haben ganz frische Feldspäte bis zur Tonfraktion herab, auch der Glaukonit ist noch unzersetzt. Wohl aber zeigt die Schluffraktion einen erheblichen Gehalt an Montmorillonit, der sich durchaus durch Umwandlung des Muskovits erklären läßt. Der Glimmer ist, da er ja nach der Basis leicht aufblättert, zersetzenden Vorgängen viel leichter zugänglich als der Feldspat, der zudem hier hauptsächlich als schwer zersetzbarer Alkalifeldspat vorliegt. Ein solcher Übergang von Muskovit zu Montmorillonit wird von verschiedenen Forschern vermutet. Es ist anzunehmen, daß z. T. Pseudomorphosen von Montmorillonit nach Muskovit vorliegen, deren Inneres vielfach noch aus unzersetztem Glimmer besteht.

Drittens ist von Ganssen die Ansicht vertreten worden, daß das Korngrößenmaximum bei 0,05—0,01 mm z. T. sekundär ist. Er glaubte, daß auch andere Korngrößen an der Bildung in hervorragendem Maße beteiligt gewesen sind und daß die große Gleichmäßigkeit der Lößvorkommen hauptsächlich auf die gleiche aride (hydratische) Verwitterung und auf die in annähernd gleicher Höhe vorhandenen wichtigen Bestandteile der verschiedensten Muttergesteine (z. B. auf gleich hohen SiO_2 -Gehalt zurückzuführen sind¹⁾. Schon Keilhack [44] hat diese Schwierigkeit der äolischen Theorie hervorgehoben, welche den Löß von den glazialen Ablagerungen her ableitet; so gewaltige Massen der Korngrößen 0,05—0,01 mm haben sicher nicht ausgeblasen werden können, zumal ja nicht die ganze Masse der glazialen Ablagerungen, sondern nur die oberen Teile bis zu einer geringen Tiefe für die Ausblasung zur Verfügung standen. Daher hat Ganssen angenommen, daß auch Sedimente anderer Art (besonders mit höherem Tongehalt) für die Lößbildung in Betracht kommen, wenn nur alkalische Bodenlösungen vorhanden sind (diese können auch von aufsteigendem Grundwasser geliefert werden), welche sorptionsfähige Mineralien liefern. Diese Tonmineralien bedingen eine Kornvergrößerung, indem teilweise krümelige Gebilde entstehen¹⁾. Die hydratische Verwitterung soll also auf Kornvergrößerung, die tonige auf Kornzerkleinerung hinarbeiten.

Es mag sein, daß die erwähnten Vorgänge bei manchen Lößen eine entsprechende Kornvergrößerung bewirkt haben; für unseren Löß ist jedoch das Korngrößenmaximum bei 0,05—0,01 mm sicher

¹⁾ Es ist durchaus denkbar, daß die vorhandenen Montmorillonitteilchen als Kristallisationskerne dienen. Die sich vergrößernden Teilchen könnten also aneinander wachsen und auf diese Weise gröbere Teilchen liefern.

primär. Auch eine Kornvergrößerung durch Kalkumhüllung ist ausgeschlossen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der Derenburger Löß seine Textur durch die Tätigkeit von Würmern und durch die verkittende Wirkung des Tons erhalten hat. Chemische Umsetzungen haben sich kaum bemerkbar gemacht, so daß auch eine sekundäre Beeinflussung der Korngrößenverteilung nicht in Betracht kommt.

Ablagerung. Hier soll die Frage erörtert werden, in welchem Medium der Löß an seiner jetzigen Lagerstätte zum Absatz gelangt ist. Unberücksichtigt bleibt dabei zunächst, in welchem Medium der Transport vor sich gegangen ist, denn Transport und Absatz können in verschiedenen Medien erfolgt sein. Der Lößstaub kann zunächst vom Wind verfrachtet und dann im Wasser abgesetzt worden sein (Seelöß); in anderen Fällen kann vom Wasser abgesetzter Schlamm nach dem Austrocknen durch Wind aufgearbeitet worden sein.

Wie auf S. 73 erwähnt, hat man den Versuch gemacht, aus dem Porenvolumen auf die Art der Ablagerung zu schließen. Bleibt das Porenvolumen vor und nach dem Schlämmen gleich, so darf man auf Ablagerung in Wasser schließen. Das ist nun beim Derenburger Löß der Fall. Es liegen aber noch andere Tatsachen vor, die kennzeichnend für diese Art der Ablagerung sind.

Wenn wir das Profil (Abb. 4) näher betrachten, so fallen zunächst die zahlreichen Kalksteinbröckchen auf, die wie gezeigt worden ist, nicht als Konkretionen zu betrachten sind, sondern die gleich bei der Ablagerung des Lößmaterials mit hereingebracht worden sind. Vom Wind können solch große Gebilde unmöglich verfrachtet worden sein; wir haben auch hiermit einen Beweis dafür, daß Wasser beim Aufbau des Profils tätig gewesen ist. Auch das Kiesband, das Material aus dem Harz enthält, spricht dafür. Daß wir die Harzkiese nur in einem einzigen Band antreffen, weist darauf hin, daß die Stoßkraft des Wassers nur einmal so groß gewesen ist, dieses Material heranzuschaffen. Sicherlich ist bei der Einspülung des Kieses und der Kalkbrocken auch feineres, sandiges Material mit in das Profil gelangt. Erheblich kann die Menge aber nicht gewesen sein, wie sich aus der Schlämmanalyse ergeben hat. Die Beimengung grobsandigen Materials kommt m. E. im Abrollungsgrad der Fraktion 0,2—0,1 mm zum Ausdruck, deren Mittelwert aus der Reihe fällt. Auch auf die groben, wenig abgerollten Granatkörner und auf das daraus abgeleitete Radienverhältnis $R_{\text{Granat}}:R_{\text{Quarz}}$ sei hingewiesen.

Wasser ist also zweifellos am Zustandekommen der Ablagerung beteiligt gewesen, und zwar nicht nur zeitweise. Wäre nur das Kiesband vorhanden, so brauchte nur eine einzige Überflutung vor sich gegangen sein, da aber die Kalkstückchen durch das ganze Profil

hindurch verteilt sind, muß ständig Wasser zugeflossen sein. Fraglich bleibt zunächst, ob nicht daneben ständig Material auf äolischem Wege zugeführt worden ist. Man könnte daran denken, daß ein Stau-
becken vorhanden war, in welches ständig Lößstaub hineingeweht worden ist. Doch soll dazu erst im nächsten Abschnitt Stellung genommen werden.

Die eingehende Untersuchung hat gezeigt, daß das Profil in stofflicher Hinsicht in zwei Teile zerfällt. Zunächst fällt das sprunghafte Ansteigen des Kalkgehaltes oberhalb des Kiesbandes auf. Aus allem ergibt sich, daß diese Unterschiede in erster Linie primär bedingt sind. Zweitens ist auch die Schwermineralverteilung in beiden Teilen verschieden. Nicht nur, daß quantitative Unterschiede vorhanden sind, auch in qualitativer Hinsicht unterscheidet sich der untere Teil des Profils vom oberen. Bemerkenswert ist, daß in beiden Teilen unten die Hauptmasse der Schwermineralien angereichert ist (Tabelle 22). Diese Unterschiede sind durch die verschiedene Verteilung der Schwermineralien im zugeführten Material bedingt.

Betreffs der Ablagerung kann man also zusammenfassend sagen, daß das Wasser beim Zustandekommen der Ablagerung wirksam gewesen ist. Es ist nicht anzunehmen, daß nach der Ablagerung des unteren Teils eine längere Ruhepause eingetreten ist, denn sonst wäre wohl eine Verlehmungsschicht herausgebildet worden.

Transport. Kies und Kalkbrocken sowie ein Teil des Grob-
sand es sind zweifellos durch Wasser verfrachtet worden. Die Frage ist nun, wie die feinkörnigen Anteile verfrachtet worden sind. Man hat verschiedentlich versucht, aus den Ergebnissen der Schlämmanalyse die Art des Transports abzuleiten. Selbst wenn wir eine sekundäre Beeinflussung der Korngrößenverteilung ausschließen, ist dies nach den Ausführungen im Abschnitt I, 5 nicht statthaft. Ob sich der Abrollungsgrad für genetische Betrachtungen auswerten läßt, muß die Zukunft erweisen. Auch dann würde man z. B. nur sagen können, daß das Material einmal durch Wind transportiert worden ist, ob es auf diesem Wege auch an die jetzige Lagerstätte gelangt ist, bliebe unentschieden.

So haben wir bisher leider kein Kriterium, um zu entscheiden, ob ein feinkörniges Sediment äolischer oder fluviatiler Entstehung ist. Wahrscheinlich für unseren Derenburger Löß ist, daß das gesamte Material vom Wasser herangeführt worden ist. Die Kiese sind z. T. noch recht scharfkantig, da der Harz ja nur wenige Kilometer entfernt ist.

Daß das Lößmaterial nicht in situ gebildet worden ist, sondern durch Transport herangebracht worden ist, geht auch aus den unterlagernden Sanden und Kiesen hervor, welche nordisches Material

führen. Der Löß muß also in der Diluvialzeit sich über den Sanden abgelagert haben; er kann nicht etwa aus sandigen Kreidemergeln an Ort und Stelle entstanden sein.

Herkunft. Schon die Betrachtungen über die Art der Verfrachtung haben gezeigt, daß, je weiter die Vorgänge zurückliegen, sichere Aussagen um so schwieriger zu machen sind. Hinsichtlich der Herkunft ist die herrschende Meinung die, daß das Lößmaterial das Ausblasungsprodukt aus der Grundmoräne des diluvialen Inlandeises darstellt. Wenn sich damit auch viele Eigenschaften des Löß recht gut erklären lassen, so bleiben immerhin einige wichtige Fragen ungelöst, was Keilhack [44] veranlaßte, sich für die kosmische Herkunft einzusetzen. Vor allem waren es die angebliche Gleichartigkeit und die gewaltige Masse des Lößes, die nach der Meinung Keilhacks nicht mit der äolischen Theorie in Einklang zu bringen waren. Schon die wenigen mineralogischen Untersuchungen haben aber gezeigt, daß eine universelle Gleichartigkeit des Lößes nicht besteht, womit die kosmische Theorie eine wichtige Stütze verloren hat. Was aber die riesigen Mengen an Lößmaterial anbelangt, so glaube ich, daß er damit nicht ganz unrecht hatte. Denn für eine Ausblasung kommt ja nicht die ganze Masse der glazialen Ablagerungen, sondern nur die oberflächlichen Teile in Betracht. Weißermel [44] hielt daher die mächtigen diluvialen Sande für das Ursprungsmaterial des Lößes, da diese vom Winde wegen ihrer lockeren Beschaffenheit viel leichter bis in große Tiefen ausgeblasen werden konnten als der Geschiebemergel. Ganssen [29] hat dann dargelegt, daß außer den Ausblasungsprodukten auch Material anderer geologischer Herkunft (z. B. sandige Mergel), ja sogar anderer Korngröße für die Lößbildung in Betracht kommt. Damit ist auch die Frage nach der ungeheuren Masse des Lößes befriedigend gelöst.

Man könnte daran denken, daß der Derenburger Löß ein verschwemmter Löß wäre. Dann dürfte auf keinen Fall ein echter (ausgereifter) Löß vorgelegen haben. Das kann man außer aus der mikroskopischen Untersuchung aus der Farbe schließen, die bei einem echten Löß gelb bis braun ist, während unser Löß mehr gelbgrau ist.

Im Hinblick auf die Lage unseres Lößes im nördlichen Harzvorland halte ich es für wahrscheinlicher, daß das Lößmaterial von den Schmelzwässern am Rande des Inlandeises aus dem Geschiebemergel ausgeschlämmt worden ist. Der Geschiebemergel, der in der Umgebung Derenburgs an einzelnen Stellen aufgeschlossen ist [21, S. 51], enthält nicht nur nordisches Material, sondern auch einheimisches meso- und paläozoisches. Bei seinem Vorrücken nach Süden glitt das Inlandeis über die Schichtenköpfe der gefalteten mesozoischen Gesteine des Harzvorlandes hinweg und auch über diluviale Schotter,

die aus dem Harz ins Vorland verfrachtet worden waren. Die Grundmasse des Geschiebemergels, die tonig, fein- und grobsandig und sehr kalkreich ist, hat eine braune bis gelblichgraue Farbe. Von den Schmelzwässern, die am Rande des Inlandeises hervorströmten, wurde das Material nach der Korngröße zerlegt. Gelegentlich wird es zu einem Stau dieser Schmelzwässer mit den Flüssen und Bächen gekommen sein, die zu jener Zeit dem Harz entströmten; dadurch konnte eine Vermischung von Material verschiedener Herkunft abermals stattfinden. Zeitweise muß der Abfluß der Harzgewässer sehr lebhaft gewesen sein, denn es wurden in den Lößschlamm Gesteinsstückchen einzeln oder in Nestern abgelagert.

Lassen sich nun Beziehungen des Lößes zur Grundmoräne nachweisen? Dabei soll von der hohen Radioaktivität, die für Herkunft aus Fennoskandien spricht, abgesehen werden. Die fluvioglazialen Bildungen bei Derenburg stehen sehr wahrscheinlich fast alle mit der im Harzvorlande am weitesten verbreiteten jüngeren Grundmoräne in Beziehung [21]. Sicher hat man dies am Nordrande des Holtemmetales nachweisen können, wo alte und junge Moräne in räumlicher Beziehung stehen. Da diese Moränen den älteren der drei für Norddeutschland festgestellten Eiszeiten entsprechen, leiten sich die fluvioglazialen Sedimente vorwiegend von der mittleren (saaleeiszeitlichen) Grundmoräne ab (die ältere ist die elstereiszeitliche, die jüngste hat unser Gebiet nicht erreicht).

Über den Schwermineralbestand der Moränen hat Fiedler [27] vergleichende Untersuchungen angestellt. Die verschieden altrigen Moränen lassen sich recht gut durch das Verhältnis

(Granat + Zirkon):(Epidot + Klinozoisit)

unterscheiden. Als Alterskriterium gilt, daß die altdiluviale Moräne viel Epidot + Klinozoisit aufweist, die jungdiluviale dagegen relativ viel Granat + Zirkon. Die mitteldiluviale Moräne (Saale und Warthe) nimmt eine Zwischenstellung ein. Diese Unterschiede lassen sich leicht verstehen, wenn man bedenkt, daß in Fennoskandien zuerst epi- bis mesozoönale Gesteine abgetragen und verfrachtet worden sind, während später mehr katazonale Gesteine (mit viel Granat) und kieselsäurereiche Tiefengesteine (Zirkon) der Abtragung anheimfielen.

Bevor Vergleiche angestellt werden, ist die Frage zu beantworten, ob die Ergebnisse der Fiedlerschen Untersuchungen mit denen der vorliegenden Arbeit in Beziehung gesetzt werden können. Das ist durchaus möglich, obgleich Fiedler die Schwermineralien nur aus der Fraktion 0,09—0,06 mm abgetrennt hat. Wie ich aber zeigen konnte, ist das Verhältnis (Zirkon + Granat) zum Epidot in den

Fraktionen 0,1—0,05 mm und 0,05—0,02 mm das gleiche. Daß Fiedler einen etwas engeren Bereich (statt 100—50 μ nur 90—60 μ) gewählt hat, ist ohne wesentlichen Einfluß. Überdies wird bei diesen Vergleichen nur die relative Menge, nicht die absolute, berücksichtigt. Wenn Fiedler keine Zentrifuge benutzt hat, so kann also auch dadurch kein erheblicher Fehler entstehen.

Die Durchschnittsprobe des Derenburger Lößes hat das Verhältnis (Granat + Zirkon):Epidot = (25 + 35):40. Dieses entspricht dem von Fiedler [27, S. 344] angegebenen Mittel aus acht saaleeiszeitlichen Proben des nördlichen Harzvorlandes. Die geologischen Feldbeobachtungen werden demnach durch die Schwermineraluntersuchungen bestätigt.

Fiedler weist weiter darauf hin, daß die Geschiebemergel aus dem Harzvorland durch Armut an Klinoisit ausgezeichnet sind und dadurch von den nördlicher gelegenen Saale- und Elstermergeln abweichen. Als Grund nimmt er an, daß diese Mergel besonders viel lokales Material aufgenommen haben. Das stimmt vollkommen mit dem Bilde überein, das ich mir vor Kenntnis der Fiedlerschen Untersuchungen über die Entstehung des Derenburger Lößes gemacht hatte. Ich habe mich auch mit der Möglichkeit beschäftigt, diesen Löß einfach als Umwandlungsprodukt von sandigen Mergeln der Oberkreidezeit aufzufassen. In stofflicher und mineralischer Hinsicht bestehen keine Bedenken, nur müßten noch einige Spezialuntersuchungen vorgenommen werden, um endgültig zu dieser Frage Stellung zu nehmen¹⁾. Ich hoffe, auf diese Angelegenheit bald zurückkommen zu können. Auf jeden Fall gehört dieses Lößvorkommen zu denjenigen, die eine weitgehende lokale Beeinflussung erkennen lassen. Mir scheint, daß die Zahl solcher Vorkommen weit größer ist, als man bisher angenommen hat, wenn nicht überhaupt jeder Löß in Deutschland mehr oder weniger große Einflüsse dieser Art bei näherem Zusehen aufweist.

Wenn auch auf Grund des Verhältnisses (Zirkon + Granat):Epidot enge Beziehungen zur saaleeiszeitlichen Grundmoräne bestehen, so sind andererseits im Schwermineralbestand beachtliche Unterschiede vorhanden, die nicht unberücksichtigt gelassen werden dürfen. In Tabelle 42 sind die einzelnen Schwerminerale mit abnehmender Häufigkeit zum Vergleich gegenüber gestellt.

Die gesperrt gedruckten Mineralien fallen aus der Reihe heraus. Am meisten macht sich dies beim Granat bemerkbar; während dieser beim Geschiebemergel das zweithäufigste Mineral ist, steht es beim

¹⁾ Das würde bedeuten, daß der Löß durchaus nicht an das Eis gebunden ist.

Derenburger Löß erst an fünfter Stelle. Weniger groß ist der Unterschied bei der Hornblende, am geringsten bei Epidot.

Tabelle 42.

Mittel aus acht saaleiszeitlichen Proben (Fiedler)	Löß, Derenburg
1. Opak	1. Opak
2. Granat	2. Epidot
3. Epidot, Zoisit u. a.	3. Hornblende
4. Zirkon	4. Zirkon
5. Hornblende	5. Granat
6. Rutil	6. Rutil
7. Turmalin	7. Turmalin
8. Diäthen	8. Diäthen usw.

Für vergleichende Zwecke muß man nicht nur den mittleren Schwermineralbestand, sondern auch den der einzelnen Horizonte berücksichtigen. In den oberen Teilen des Profils ist der Epidot in erheblich geringerer Menge vorhanden als in den unteren. Immerhin ist das Verhältnis (Zirkon + Granat):Epidot derart, daß man auch wohl die oberen Schichten der saaleiszeitlichen Moräne zuordnen kann.

C. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen.

Ein Lößvorkommen bei Derenburg a. H. wurde nach den verschiedensten Richtungen eingehend untersucht. Die physikalischen Untersuchungen (Gefüge, Konsistenzgrenzen, Korngrößenverteilung) haben Werte ergeben, wie sie für echten Löß kennzeichnend sind. Die Radioaktivität ist bemerkenswert hoch.

Der Leicht- und Schwermineralbestand wurde qualitativ und quantitativ festgestellt. Dabei wurden außer optischen auch andere Methoden verwendet. Die Zusammensetzung der Tonfraktion wurde auf röntgenographischem Wege ermittelt. Der untersuchte Löß weist einen verhältnismäßig niedrigen Quarzgehalt (rund 45%) und viel Feldspat (gegen 20%) auf. Ziemlich hoch ist auch der Gehalt an Montmorillonit (8%), wovon der größere Teil sich in den Korngrößengruppen $> 2 \mu$ vorfindet. Die unzersetzten Feldspäte und der frische Glaukonit deuten darauf hin, daß Stoffwanderungen kaum vor sich gegangen sein können. Umkrustungen der Mineralkörner mit Kalkspat treten daher selten auf.

Die Korngestalt wurde nach der Methode von Szadeczky-Kardoß bestimmt (Kornform und Kantigkeit). Die Werte liegen

meist bei 3b und 4a; die Körner sind demnach ziemlich weitgehend abgeschliffen.

Weiterhin wurden umfangreiche chemische Untersuchungen vorgenommen. Hierbei kamen nicht nur die üblichen Methoden der qualitativen und quantitativen Silikatanalyse zur Anwendung, sondern auch Spezialverfahren, z. B. Bestimmung des Quarzgehaltes mit Borfluorwasserstoffsäure, Bestimmung von Dolomit neben Kalkspat mit Kupfernitratlösung, kolloidchemische Untersuchungen zum Nachweis der Sorptionsträger. Schließlich wurden auch Untersuchungen mit Hilfe des Quarzspektrographen durchgeführt. Alle die damit erhaltenen Ergebnisse führten zu dem Schluß, daß wir einen Löß vor uns haben, der keine nennenswerten Veränderungen durch Verwitterung aufweist. Eigentliche Lößpuppen treten daher nicht auf; was man als solche bezeichnen kann, sind umgebildete Kalksteinbröckchen. Die vorhandene Lehmschicht zeigte gegenüber dem übrigen Löß keine wesentliche Abweichung.

Alles in allem hat sich erwiesen, daß wir im Derenburger Löß einen ausgezeichneten Erdstoff vor uns haben, der nicht nur für die Bodenbildung, sondern auch für therapeutische Zwecke hervorragend geeignet ist.

Die experimentellen Ergebnisse ließen mancherlei Schlüsse in genetischer Hinsicht zu. Diagenetisch ist der Löß wenig verändert. Es ist daher berechtigt, von einem unreifen Löß zu sprechen. Die Porentextur ist durch Wurmröhren und durch die klebende Wirkung der Tonsubstanz herausgebildet worden. Obwohl unser Löß viele typische Eigenschaften des Windlößes aufweist (Korngrößenverteilung, Konsistenzgrenzen u. a.), ist er unter Wasser abgelagert worden. Hinsichtlich der Herkunft kann angenommen werden, daß das Material z. T. aus der saaleiszeitlichen Grundmoräne ausgewaschen worden ist, zum anderen Teil aber von sandigen Kreidemergeln herührt.

Im Verlaufe der experimentellen Untersuchungen haben sich zahlreiche Fragen ergeben, deren Klärung bei anderen Lößvorkommen wünschenswert ist (Radioaktivität, Variationsbreite des Chemismus und des Mineralbestandes, Abrollungsgrad u. a.). Auch Nomenklaturfragen müssen erörtert und klargestellt werden, z. B. ob der Begriff Löß auf äolische Ablagerungen beschränkt bleiben soll (wie es E. Zimmermann [44] will). M. E. ist diese enge Fassung nicht berechtigt, denn erstens kann jedes geeignete Material (Korngröße, Mineralbestand) auch nach Absatz im Wasser zu einem echten Löß ausreifen, und zweitens ist ja nicht in jedem Falle der Nachweis zu erbringen, ob das betreffende Vorkommen äolischer oder fluviatiler Entstehung ist. Eine andere wichtige Frage ist; ob echter Löß einen beachtlichen

Kalkspatgehalt aufweisen muß. E. Zimmermann hält dies nicht für erforderlich, während nach meiner Ansicht der Kalkspat einen integrierenden Bestandteil der Löße darstellt.

Diese und andere Fragen sollen erörtert werden, wenn weitere Untersuchungen vorliegen.

Jena, Mineralogisch-petrographisches Institut der
Friedrich-Schiller-Universität, im Dezember 1942.

Schriftenverzeichnis.

1. Atterberg, A., Die Plastizität der Tone. Internat. Mitteilungen f. Bodenkunde I, 10—43 (1911). — 2. Barth, F. W., C. W. Correns und P. Eskola, Die Entstehung der Gesteine. Verlag J. Springer. Berlin 1939. — 3. Bausch van Bertsbergh, J. W., Richtungen der Sedimentation in der Rheinischen Geosyncline. Geol. Rundschau 31, 328—364 (1940). — 4. Becke, F., Tschermaks Min. u. Pet. Mitt. 10, 90 (1888); 12, 257 (1891). — 5. Behr, J. und R. Köhler, Beitrag zur praktischen Auswertung der Bodenanalyse. Mitteilungen a. d. Laboratorien der Preuß. Geol. L.-A. H. 11 (1930). — 6. Benade, W., Moore, Schlamme, Erden (Peloide). Der Rheumatismus, Bd. X. Herausg. von R. Jürgens, Verlag Steinkopff, Dresden und Leipzig 1938. — 7. Derselbe, Der Balneologe, Bd. I (1934). — 8. Breddin, H., Löß, Flugsand und Niederterrasse im Niederrheingebiet, ein Beitrag zur Frage der Entstehung des Löß. Geol. Rundschau 18, 72—78 (1927). — 9. Brockmeier, H., Lößbildung und Lößschnecken. Z. Deutsch. Geol. Ges. 83, 584—596 (1931). — 10. Cissarz, A., Der Einfluß der im Analysengang abgeschiedenen Kieselsäure auf die Bestimmung geringster Metallgehalte in Gesteinen. Zbl. Min. (A) 1930, 328. — 11. Correns, C. W. und W. Schott, Vergleichende Untersuchungen über Schlämm- und Aufbereitungverfahren von Tonen. Kolloid-Zeit:chrift 61, 68 bis 80 (1932). — 12. Cox, E. P., A method of assigning numerical and percentage value to the degree of rounding of sand grains. Journ. of Paleont. I, 205—240 (1927—1928). — 13. Daubrée, A., Synthetische Studien zur Experimentalgeologie. Deutsch von Gurlt, Braunschweig 1880. — 14. Dittler, E., Gesteinsanalytisches Praktikum. Verlag W. de Gruyter u. Co., Berlin und Leipzig 1933. — 15. Wang, D., Beiträge zur Kenntnis der chemischen und mechanischen Beschaffenheit chinesischer Lößböden. Diss. phil. Leipzig 1928. — 16. Edelman, C. H., Ergebnisse der sedimentpetrologischen Forschung in den Niederlanden und den angrenzenden Gebieten 1932—1937. Geol. Rundschau 29, 230 (1938). — 17. Ehrenberg, P., Die Bodenkolloide. Verlag Steinkopff, Dresden und Leipzig 1915. — 18. Engelhardt, E., Lumineszenzerscheinungen der Mineralien im ultravioletten Licht. Diss. phil. Jena 1912. — 19. Engelhardt, W. v., Mineralogische Beschreibung eines mecklenburgischen Bodenprofils. Chemie d. Erde 11, 17—37 (1938). — 20. Derselbe, Die Unterscheidung wasser- und windsortierter Sande auf Grund der Korngrößenverteilung. Chemie d. Erde 12, 445—465 (1940). — 21. Erläuterungen zur Geol. Karte v. Preußen, Blatt Derenburg, Lieferung 240, Berlin 1927. — 22. Erläuterungen zur Geol. Karte v. Sachsen, Blatt Meißen, 3. Aufl., 1928. — 23. Fauler, W., Der Löß und Lößlehm des Schwarzwaldrandes zwischen Achern und Offenburg. N. Jb. f. bogen. Z. Phys. 70, 444 (1931). — 56. Mehmel, M., Anwendung optischer und röntgenographischer Methoden bei der Untersuchung der Tone. Ber. d. Deutsch.

- Min. usw., Beil.-Bd. 1936, 75 (B) 191—230. — 24. Favejee, J. Ch. L., Quantitative röntgenographische Bodenuntersuchung. Z. Krist. (A) 101, 266 (1939). — 25. Fellenberg, Th. v., Das Vorkommen, der Kreislauf und der Stoffwechsel des Jods. Ergebnisse der Physiologie 25 (1926). Verlag J. F. Bergmann, München. — 26. Fiedler, A., Sedimentpetrographische Gliederung der Geschiebemergel Mecklenburgs. Jb. d. Preuß. Geol. L.-A. 57, 111—145 (1936). — 27. Derselbe, Ergebnisse der Schwermineralanalyse von Geschiebemergeln im mittleren und westlichen Norddeutschland. Z. f. angew. Min. I, 312—352 (1939). — 28. Frantzen, W., Die Entstehung der Lößpuppen in den älteren lößartigen Tonablagerungen des Werratales bei Meiningen. Jb. d. Preuß. Geol. L.-A. 1885 257—266 (1886). — 29. Ganßen, R., Die Entstehung und Herkunft des Löß. Mitteilungen a. d. Laboratorien der Preuß. Geol. L.-A. Heft 4 (1922). — 30. Gatterer, A. und J. Junkes, Arc Spectrum of Iron. Specola Vaticana, Castel Gandolfo, Italy. 1935. — 31. Gmelins Handbuch der Anorganischen Chemie, 8. Aufl., System-Nr. 8 (Jod). Verlag Chemie, Berlin 1933. — 32. Gockel, A., Die Radioaktivität von Boden und Quellen. Sammling Vieweg, Heft 5. Braunschweig 1914. — 33. Göbller, F., Bogen- und Funkenspektrum des Eisens von 4555 Å bis 2227 Å. Verlag Gustav Fischer, Jena 1942. — 34. Häusler, H., Ein Beitrag zur Lößfrage (Porenvolumen und Entstehung). Zbl. Min. (A) 1938, 372. — 35. Harrassowitz, H., Die chemische Zusammensetzung der Löße. Z. Deutsch. Geol. Ges. 83, 659 (1931). — 36. Heide, F., Beiträge zur Mineralogie und Petrographie der Rhön. 1. Montmorillonit von Unter-Rupsroth bei der Milseburg. Chemie d. Erde 3, 91—97 (1928). — 37. Jakob, J., Anleitung zur chemischen Gesteinsanalyse. Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1928. — 38. Jung, H., Montmorillonit vom Dolmar bei Meiningen. Chemie d. Erde 11, 217—222 (1937). — 39. Derselbe, Zur Kenntnis des Montmorillonits. Chemie d. Erde 11, 287 bis 293 (1937). — 40. Derselbe, Montmorillonit von der Mehmelser Kuppe (Thür.). Die Naturwiss. 26, 739 (1938). — 41. Derselbe, Die Eigenschaften des Löß und dessen Anwendung in der Heilkunde. Dtsch. med. Wschr. Nr. 29, 1164 (1939). — 42. Derselbe, Untersuchungen über Löß und dessen Anwendung in der Heilkunde. Z. f. angew. Min. IV, 12—16 (1941). — 43. Kayser, H., Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren aller Elemente, 2. Aufl. Neubearbeitet v. R. Ritschle. Verlag Julius Springer, Berlin 1939. — 44. Keilhack, Das Rätsel der Lößbildung. Z. Deutsch. Geol. Ges. Monatsber. 72, 146—161 (1920). — 45. Keßler, P., Zur Kenntnis der Entstehungsbedingungen der Lößkindel. Internat. Mitteilungen f. Bodenkunde XIV, 107—111 (1924). — 46. Klähn, H., Sedimentation subaerischer Sedimente (Sand und Löß). Z. Deutsch. Geol. Ges. 85, 14 (1933). — 47. Kölbl, L., Studien über den Löß. Über den Löß des Donautales und der Umgebung von Krems. Mitteilungen der Geol. Ges. Wien XXIII, 85—121 (1930). — 48. Krufft, L., Die Phosphoritführung des vogtländischen Obersilur usw.. N. Jb. f. Min., Beil.-Bd. 1902, XV, 16. — 49. Kümel, F., Über den Wert der Schlämmanalyse für die Deutung feinkörniger Absätze. Zbl. f. Min. (A) 1938, 70—79. — 50. Kunze, R. und M. Vogel, Über Wesen und Wirkungen von Heilerden. Der Balneologe H. 2, 80—98 (1936). — 51. Leiningen, W. Graf zu, Löß und Schwarzerde aus der Umgegend von Wien. Internat. Mitteilungen f. Bodenkunde X, 118—129 (1920). — 52. Line, W. R. und P. W. Aradine, Quarzbestimmung in Gegenwart von Silikaten. Ind. Eng. Chemical Anal. Edn. 9, 60—62 (1937). — 53. Löwe, F., Atlas der Analysenlinien der wichtigsten Elemente. Verlag von Steinkopff, Dresden und Leipzig 1936. — 54. Mahler, O., Über das chemische Verhalten von Dolomit und Kalkspat. Diss. phil. Freiburg 1906. — 55. Mannkopff, R. und Cl. Peters, Über quantitative Spektralanalyse mit Hilfe der negativen Glimmschicht im Licht-

Keramischen Ges. 19, 295—328 (1938). — 56a. Derselbe, Datensammlung zum Mineralbestimmen mit Röntgenstrahlen. Teil I. Fortschr. d. Min., Krist. u. Petr. 23, 91—118 (1939). — 57. Meigen, H. und H. G. Schering, Chemische Untersuchungen über Löß und Lehm aus der oberrheinischen Tiefebene. Mitteilungen d. Großh. Badischen Geol. L.-A. VII, 643—669 (1914). — 58. Meißner, A. und R. Bechmann, Erzeugung und Untersuchung nichtkristalliner piezo-elektrischer Stoffe. Z. f. techn. Phys. 1928, 430. — 59. Münichsdorfer, F., Der Löß als Bodenbildung. Geol. Rundschau 17, 321—332 (1926). — 60. Nagelschmidt, G., Röntgenographische Untersuchungen an Toren. Z. Krist. (A) 87, 120—135 (1934). — 61. Noll, W., Geochemie des Strontiums. Chemie d. Erde 8, 507 (1933/34). — 61a. Derselbe, Über das Vorkommen von Montmorillonit in einigen Zersetzungsprodukten von Basalten des westlichen Vogelsberges. Chemie d. Erde 11, 294—306 (1938). — 62. Peyer, W. und W. Röpke, Über Heilerden. Apotheker-Zeitung 1926, Nr. 85/86. — 63. Preuß, E., Spektralanalytische Untersuchung der Tektite. Chemie d. Erde 9, 365 (1935). — 64. Quaas, A., Löß und lößähnliche Bildungen am Niederrhein. N. Jb. f. Min. usw. Beil.-Bd. 1921, 44, 274—342. — 65. Quiring, H., Zur Sand-Löß-Frage. Geol. Rundschau XVIII, 462 (1927). — 66. Derselbe, Die Unterscheidung von Löß und Hochflutlehm. Z. f. prakt. Geol. 1934, 145—156. — 67. Richter, W., Zur Methodik der Schwermineralanalyse von sandigen Sedimenten. Zbl. Min. (A) 1939, 70. — 68. Richthofen, F. v., China I, 62, 81 (1877). — 69. Röpke, W., Die Struktur des Löß. Leopoldina 3 (1928). — 70. Schachtschabel, P., Mikroskopische und röntgenographische Untersuchungen von Böden. Bodenkunde und Pflanzenernährung 5 (50), 375 (1937). — 71. Derselbe, Untersuchungen über die Sorption der Tonmineralien und organischen Bodenkolloide und die Bestimmung des Anteils dieser Kolloide an der Sorption im Boden. Kolloid-Beihefte 51, 199 (1940). — 72. Derselbe, Die Bindung der Kationen und die Bestimmung der Sorptionsträger im Boden. Bodenkunde und Pflanzenernährung 23 (68), 1—17 (1941). — 73. Scheidig, A., Der Löß und seine geotechnischen Eigenschaften. Verlag Steinkopff, Dresden und Leipzig 1934. — 74. Schmitt, F., Über die „Kantigkeit“ des Granitquarzes. Zbl. Min. (A) 1936, 239—243. — 75. Schuhknecht, W., Spektralanalytische Bestimmung von Kalium. Angew. Chemie 50, 299 (1937). — 76. Sindowski, K.-H., Korngrößen- und Schwermineralverteilung in den Tuffen und Lössen des Laacher Seegebietes. Nr. I. Decheniana (Verh. d. naturh. Ver. d. Rheinlande und Westfalens) (A) 98, 55—70 (1938). — 77. Derselbe, Über die Verwitterbarkeit der Schwermineralien. Z. Deutsch. Geol. Ges. 90, 626—634 (1938). — 78. Derselbe, Grundsätzliches zur Schwermineralanalyse der diluvialen Rheinterrassen und Lössen. Z. Deutsch. Geol. Ges. 92, 477—499 (1940). — 79. Sokol, R., Über die Methoden, einzelne Bestandteile einer feinkörnigen Grundmasse im Dünnschliffe zu unterscheiden. Zbl. Min. 1911, 276—279. — 80. Spangenberg, K., Die künstliche Darstellung des Dolomits. Z. Krist. 52, 529—567 (1913). — 81. Stockfisch, K. und W. Benade, Die Charakterisierung der Heilschlamm- und verwandter Stoffe auf Grund mikroskopischer, chemischer, dispersoidanalytischer Untersuchungen, sowie ihre physikalischen Eigenschaften. Mitteilungen a. d. Laboratorien d. Preuß. Geol. L.-A. Heft 11, 35—83 (1930). — 82. Szadeczky-Kardos, E. v., Die Bestimmung des Abrollungsgrades. Zbl. Min. (B) 1933, 389 bis 401. — 83. Thugutt, St. J., Sind wirklich Allophan, Halloysit und Montmorillonit einfach nur Gemenge von Tonerde- und Kieselsäuregel? Zbl. Min. 1911, 97—103. — 84. Vendl, A., T. Takats und A. Földvari, Studien über den Löß der Umgebung von Budapest. N. Jb. f. Min. (A) Beil.-Bd. 1935, 69, 117—182. — 85. Waibel, F., Über optische Methoden zur Untersuchung des Acker-

bodens. Z. techn. Phys. 1938, 394. — 86. Waldschmidt, E., Wie sind die Lößpuppen entstanden? Zbl. Min. (B) 1932, 424—427. — 87. Weiß, L., Bestimmung des Siliziums mit Hilfe von Gelatine, insbesondere in Stahl und Eisen. Z. anal. Chem. 11, 245—280 (1940). — 88. Wilke-Dörfurt, E., J. Beck und G. Plepp, Über das Vorkommen von Jod in Phosphatlagern. Z. anorg. u. allg. Chemie 172, 347 (1928). — 89. Zeiss, Fa., Mikrohärteprüfer. Druckschrift Mikro 554. — 90. Zingg, Th., Beitrag zur Schotteranalyse. Die Schotteranalyse und ihre Anwendung auf die Glattalschotter. Schweiz. Min. u. Petr. Mitt. XV, 39—140 (1935). — 91. Zöbelein, H. K., Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im niederbayerischen Tertiär (Blatt Pfarrkirchen). N. Jb. f. Min. usw. (B) Beil.-Bd. 1940, 84, 233—302.

Abbildungen.

- Abb. 1. Ausschnitt aus Blatt Derenburg der geol. Spezialkarte 1:25000 (\times = Fundstätte des untersuchten Lößes).
- Abb. 2. Übersichtskarte der subhercynen Kreidemulde (aus Erl. z. geol. Karte, Blatt Derenburg).
- Abb. 3. Lößaufschluß bei Derenburg (Frühjahr 1939).
- Abb. 4. Profil des Lößaufschlusses bei Derenburg (\times = Probeentnahmestellen).
- Abb. 5. Bestimmung der Fließgrenze (nach Atterberg). a vor, b nach dem Klopfen.
- Abb. 6. Zylinder zur Bestimmung der Wasserkapazität.
- Abb. 7. (Nach Stockfisch und Benade).
- Abb. 8. (Nach Stockfisch und Benade).
- Abb. 9. (Nach Stockfisch und Benade).
- Abb. 10. Summenlinien der mechanischen Analysen.
- Abb. 11. Korngrößenverteilung in der Fraktion 0,1—0,05 mm (mikroskopische Bestimmung).
- Abb. 12. Korngrößenverteilung in der Fraktion 0,05—0,02 mm (mikroskopische Bestimmung).
- Abb. 13. Sinkgeschwindigkeitskurve kleiner Teilchen in Wasser (nach Fauler).
- Abb. 14. Sinkgeschwindigkeitskurve kleiner Teilchen in Luft (nach Fauler).
- Abb. 15. Tonfraktion 1:10000.
- Abb. 16. Kalkspatrhomboeder in der Tonfraktion 1:25000.
- Abb. 17. Glimmer mit hexagonalem Umriß. Tonfraktion 1:25000.
- Abb. 18. Montmorillonit (schwarz) und Glimmer (stark korrodiert). Tonfraktion 1:25000. Links unten eine langgestreckte Bakterie.
- Abb. 19. Tonfraktion 1:250000.
- Abb. 20. Stark aufgespaltener Rand eines Tonteilchens 1:10000.
- Abb. 21. Tonteilchen 1:10000.
- Abb. 22. Beispiele für Kornformen.
- Abb. 23. Beispiele für den Abrollungsgrad (c-p-v-Werte nach v. Szadeczký-Kardoß).
- Abb. 24. Darstellung der Abrollungsgrade.
- Abb. 25. Korngrößenverteilung der Quarzkörner in der Fraktion 0,05—0,02 mm (mikroskopische Untersuchung).
- Abb. 26. Korngrößenverteilung des Granats in der Fraktion 0,05—0,02 mm (mikroskopische Untersuchung).

Buchbesprechungen.

Handbuch der analyt. Chemie. Herausg. v. R. Fresenius, und G. Jander, III. Teil, Bd. III. Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden. Verlag Springer, Berlin 1942, 37 S. Preis geb. 117.—, brosch. 114.— RM.

Den in Bd. 13 S. 516 dieser Zeitschrift besprochenen Teilen Bd. Ia und IIa des dritten Teiles des Handbuches ist nach zwei Jahren Bd. III gefolgt, der die quantitative Analyse der Elemente der dritten Gruppe behandelt.

Wer wie der Referent und seine Mitarbeiter vor einigen Jahren den im Schrifttum weit verstreuten Angaben über die quantitative Bestimmung von Bor nachzujagen Gelegenheit hatte, freut sich besonders über die umfassende und kritische Darstellung in dem neuen Handbuch durch E. Wiberg. Auch bei den anderen Elementen ist, so weit durch Stichproben festgestellt werden konnte, der neueste Stand der Dinge berücksichtigt. Über die Fülle der beim Aluminium angeführten Verfahren gibt allein schon das Inhaltsverzeichnis von 31½ Seiten einen Anhalt. Die Verfasser dieses Abschnitts sind E. Fischer-Berlin, A. v. Unruh und F. Kurz.

Während die Analysenmethoden für Aluminium in ihren Grundzügen allgemein weitgehend bekannt sind, das Handbuch also vorwiegend für genauere und elegantere Ausgestaltung und besonders schwierige Verhältnisse zu Rate gezogen werden wird, dringen die drei folgenden Artikel über Gallium, Indium und Thallium, die G. Rienäcker bearbeitet hat, in ein viel weniger bekanntes Gebiet vor. Gerade der Mineral- und Gesteinsanalytiker, der bestrebt sein muß, auch die selteneren Bestandteile zu erfassen, wird sich über diese ausgezeichnete Darstellung freuen, die mehrfach auf unveröffentlichten Versuchen des Verfassers beruht. Während Thallium noch in relativ großen Mengen vorkommt und kolorimetrisch bis zu einigen γ zu erfassen ist, wird man schon bei Gallium und Indium, die ebenfalls keine eigenen Minerale bilden, häufig die Spektralanalyse im optischen Gebiet oder die Röntgenspektralanalyse zu Hilfe nehmen oder ausschließlich anwenden.

Diese Verfahren erlangen noch größere Bedeutung im nachstehenden Abschnitt, der Yttrium und die seltenen Erden behandelt. Der Verfasser des chemisch analytischen und optisch spektroskopischen Teils, A. Brukl hat alle Bestimmungs- und Trennungsmethoden erstmals zusammengestellt und dabei auch die für analytische Zwecke geeigneten präparativen Verfahren berücksichtigt. So füllt auch dieser Abschnitt eine bisher oft empfundene Lücke aus. Die hier besonders wichtige Röntgenspektroskopie ist von A. Faebler in dankenswerter Ausführlichkeit behandelt.

Ein kürzerer Abschnitt aus der Feder von O. Erbacher bringt die analytischen Methoden zum Nachweis von Aktinium und Mesothor 2, bei denen die radiometrischen die Hauptrolle spielen, und die chemischen Trennungsmethoden.

Das Buch ist glänzend ausgestattet. Druckfehler sind soweit Stichproben ergaben, selten (S. 117 steht versehentlich am Beginn des letzten Absatzes als Formel für Bayerit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ statt $3\text{H}_2\text{O}$).

Der neue Band wird sicherlich überall, wo analytisch gearbeitet wird, freudig begrüßt werden.

Correns.

Eucken, Arnold, Grundriß der physikalischen Chemie, 5. Aufl. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1942. Preis geh. 27.—, geb. 29.— RM.

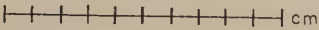
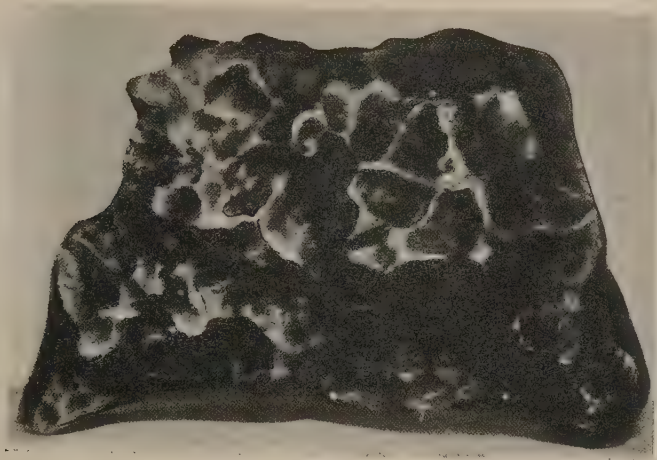
Der Grundriß liegt nun bereits in fünfter Auflage vor, ein klarer Beweis seiner Bewährung. Von der ersten Auflage an, die vor etwa 20 Jahren erschien, hat das Buch einige Wandlungen durchgemacht. So spaltete sich die dritte Auflage 1929 als umfangreiches „Lehrbuch der chemischen Physik“ ab. 1934 erschien der Grundriß wieder, als vierte Auflage. Die fünfte ist dagegen wenig verändert. Da jedoch die früheren Auflagen in dieser Zeitschrift nicht besprochen worden sind, soll auf die Stoffanordnung und -behandlung etwas näher eingegangen werden.

Der Grundplan des Buches ist, das Lehrgebäude auf einer verhältnismäßig geringen Zahl allgemeiner physikalisch-chemischer Gesetze aufzubauen. Das erste der sieben Kapitel behandelt die thermische, das zweite die kalorische Zustandsgleichung. Am wichtigsten für die Chemie der Erde ist das dritte Kapitel, das die Gesetze des thermischen Gleichgewichts auf 194 Seiten behandelt. Aus der Fülle des Stoffes sei hier nur als Beispiel auf die Darstellung des Phasengesetzes, das wegen seiner exakten Gültigkeit als Gesetz und nicht als Regel bezeichnet wird, hingewiesen. Im Gegensatz zu den üblichen, auch mineralogischen, Darstellungen werden die Definitionen der Begriffe „Komponente“ und „Phase“ schärfer gefaßt und durch Beispiele erläutert. Im vierten Kapitel werden unter der Überschrift „Gesetze für die zeitliche Veränderlichkeit thermischer Systeme“ u. a. Diffusion, Bildung neuer Phasen und Katalyse behandelt. Ein kurzes fünftes Kapitel bringt die wichtigsten Gesetze der klassischen Optik. Im sechsten, „Gesetze der klassischen Elektrizitätslehre und ihre Anwendungen auf Strukturfragen der Materie“ findet man auch die Struktur der Kristalle kurz behandelt. Das siebente Kapitel „Gesetze der Quantentheorie“ bildet den Schluß.

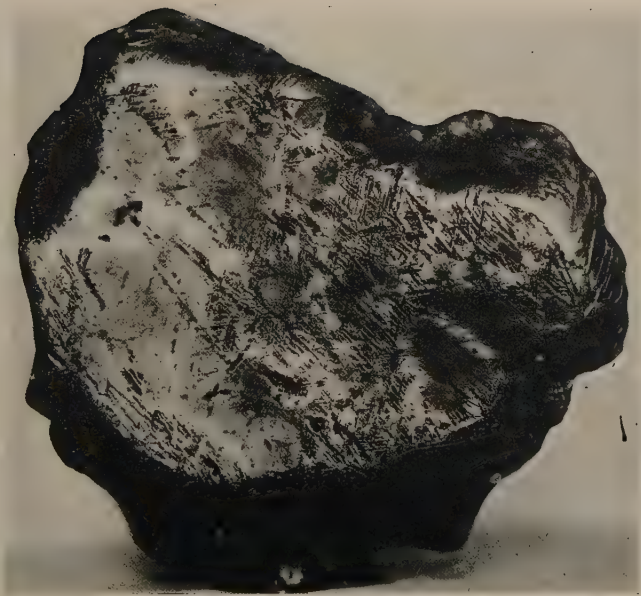
Gegen die vierte Auflage sind einige Abschnitte umgearbeitet, andere neu angefügt. So ist im dritten Kapitel die Darstellung des Massenwirkungsgesetzes geändert und gekürzt und ein Abschnitt über Trennung von Gasgemischen und Lösungen durch Adsorption neu, ebenso im vierten einer über Trennungsvorgänge, die auf Diffusion beruhen. Im sechsten Kapitel ist der Abschnitt über galvanische Ketten umgearbeitet und im siebenten der über Atom- und Molekularkräfte, bei denen quantenmechanische Kräfte eine Rolle spielen. Jedem Kapitel sind Übungsaufgaben angefügt, die sicherlich zu einer wirklichen Aneignung des Stoffes nützlich sind. Gewissermaßen als Kontrolle für den Studenten und als Examensvorbereitung sind dieser Auflage als Anhang 128 Fragen beigegeben.

Die physikalische Chemie ist mindestens seit van t'Hoff eine der wichtigsten Grundlagen der genetischen Mineralogie und Gesteinskunde. Wenn sie in manchen Arbeiten der letzten Jahre etwas in den Hintergrund getreten ist und zuweilen der Eindruck entsteht, als glaube man Vorgänge der Geochemie allein mit Ionenradiengeometrie enträtseln zu können, so ist das nur eine Übergangserscheinung. Die Gesetze der physikalischen Chemie bleiben fundamental für das Verständnis der Gesteinswelt und ihre Kenntnis deshalb unentbehrlich. Der Grundriß ist zu ihrer Vermittlung vorzüglich geeignet durch seine klare und dabei immer strenge und exakte Darstellung. Der Referent, der ihn seit der ersten Auflage benutzt und seine Schüler auf ihn hinweist, kann auch die neue Auflage nur wärmstens empfehlen.

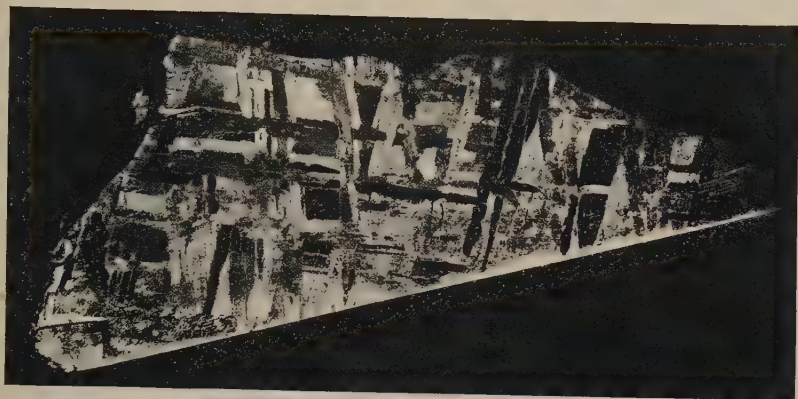
Correns.



1



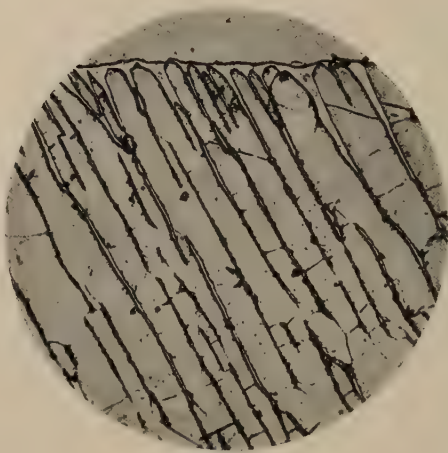
2



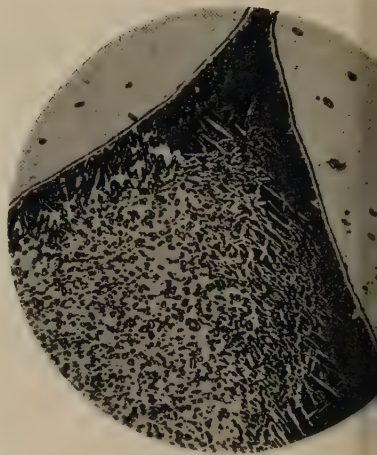
3



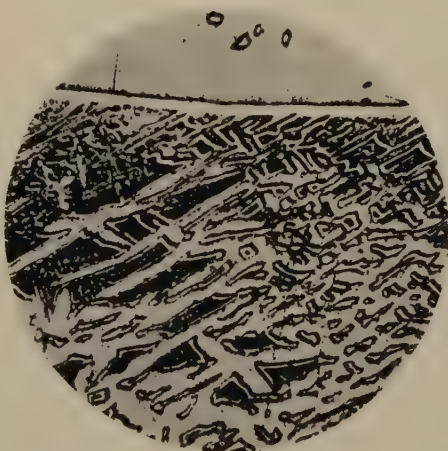
4



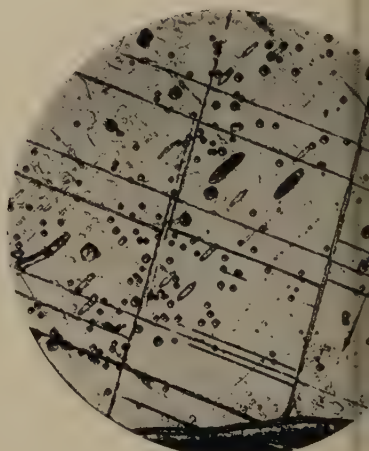
5



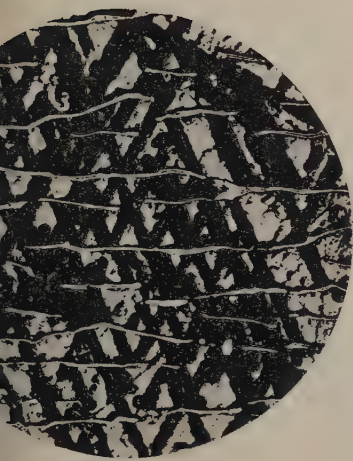
6



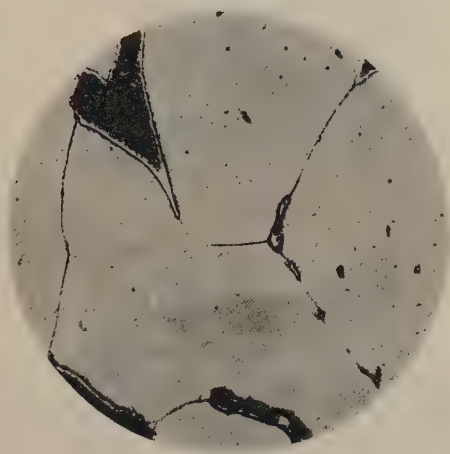
7



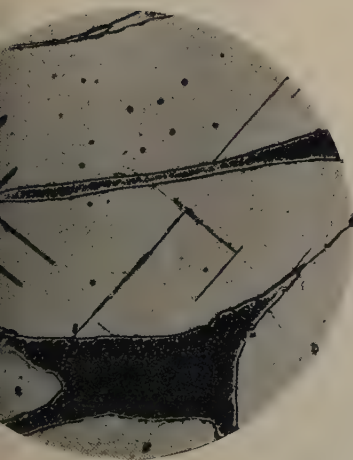
8



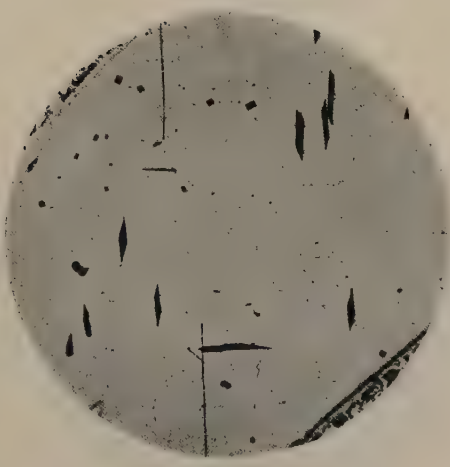
9



10



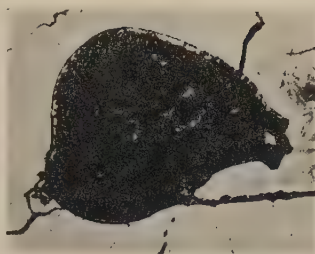
11



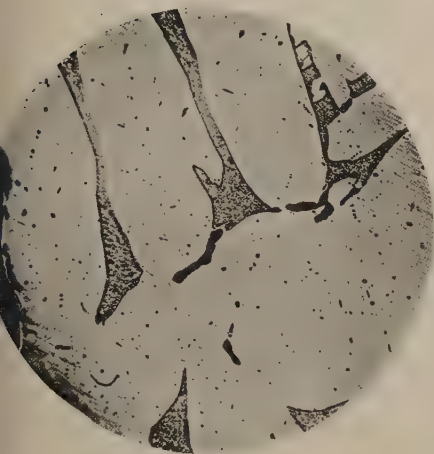
12



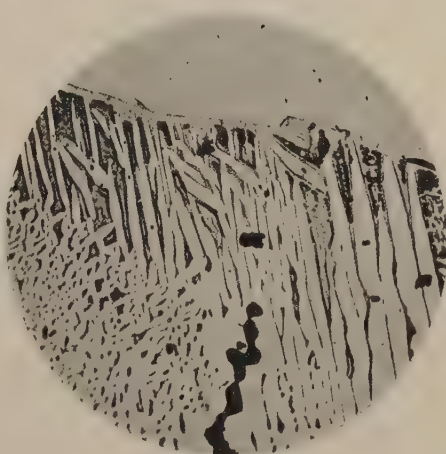
13



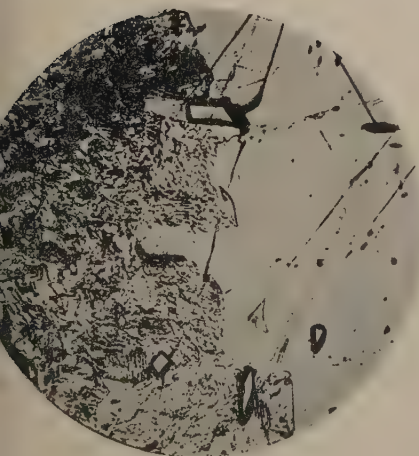
18



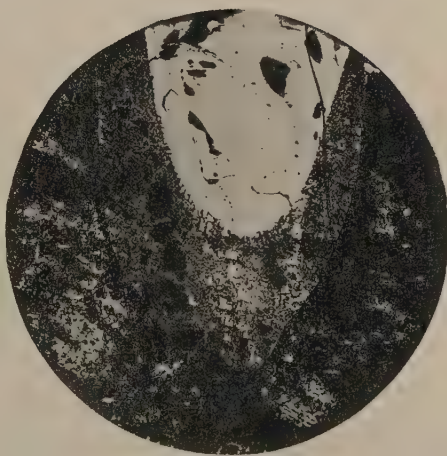
14



15



16



17

Untersuchungen über die rezente und fossile
Verwitterung der Gesteine innerhalb Deutschlands,
zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der alten
Landoberflächenbildungen der deutschen
Mittelgebirgsländer.

Von

E. Blanck und R. Melville.

Teil VI (Fortsetzung).

Experimenteller Teil.

Rotgefärbte Verwitterungsprodukte im Sinne von Roterden treten nun nicht nur in und auf Kalkgesteinen des Jura der Schwäbischen und Fränkischen Alb auf, sondern finden sich im süddeutschen Verbreitungsgebiet auch in weiter Ausdehnung auf dem Muschelkalk. Ganz besonders wurde von M. Bräuhäuser¹⁾ die Aufmerksamkeit auf derartige Vorkommnisse gelenkt, der sie als durchaus analoge Formen der Terra rossa der südlichen Länder ansprach. Das hierfür in Frage kommende Muschelkalkgebiet ist dasjenige, welches sich begrenzt im Westen durch den Buntsandstein der östlichen Abdachung des Schwarzwaldes und im Osten durch das angrenzende Keupervorland der schwäbischen Alb erstreckt und insonderheit das obere Neckartal und das der Nagold darstellt. Die hier auftretenden Muschelkalkbildungen werden von allen Abteilungen des Muschelkalkes gestellt, jedoch erweisen sich für unsere Zwecke nur die des oberen Muschelkalkes, d. h. des Hauptmuschelkalkes mit seinen Unterabteilungen, oberste dolomitische Region (Trigonodusdolomit), Nodosusschichter und Trochitenkalk, von Bedeutung.

Nach den Feststellungen der Württembergischen geologischen Landesaufnahme kommt den Verwitterungsböden der aufgeführten

¹⁾ M. Bräuhäuser, Die Bohnerzbildung im Muschelkalkgebiet am Oberen Neckar. Jhefte d. Ver. f. vaterl. Naturkde i. Württemberg, 72. Jahrg., Stuttgart 1916.

Muschelkalkschichten nachstehende Ausbildung zu. „Die aus der Verwitterung von Trochitenkalk und Nodosusschichten hervorgehenden Böden sind bodenkundlich nur sehr schwer unterscheidbar und seien daher hier zusammen behandelt. Durch die Verwitterung geht in ebener Feldeslage ein oft stark lehmiger, ziemlich kalkarmer Boden hervor, in dem fast stets noch mehr oder minder reichlich Stücke des Muttergesteins eingestreut sind. Bei geneigter Feldeslage entstehen aber die verschiedenartigsten Böden: bald so flachgründige, steinreiche Böden, bei denen der anstehende Fels unmittelbar bis an die Oberfläche reicht, bald wiederum tiefgründige, lehmige, kalkarme Böden fast ohne jegliche größere Steine, dann wieder üblich verwitterte Kalkböden.“¹⁾ Auch an anderem Orte wird gleichfalls die dunkle Farbe der meist eisenreichen, tonigen, kalkarmen Lehm Böden dieser Schichten hervorgehoben²⁾. „An den Stellen, wo die Verwitterungsprodukte des Hauptmuschelkalkes an Ort und Stelle seit langer Zeit sich ungestört und unvermindert erhalten haben“, so heißt es in den Erläuterungen zu Bl. Nagold von M. Schmidt, „oder in kleinen Einsenkungen des Plateaus sich besonders mächtige Ansammlungen der abgeschwemmten Feinbestandteile bilden konnten, treten infolge der fortschreitenden Verwitterung und Auslaugung die Kalksteinbrocken manchmal ganz zurück. Es bleibt ein brauner, eisenreicher, mäßig schwerer Tonboden, der oft allen Gehalt an kohlen saurem Kalk verloren hat, das normale Endresultat der Verwitterung toniger Kalksteinschichten“.³⁾ Hinsichtlich des Verwitterungsbodens des Trigonodusdolomites erfährt man, daß er wesentlich verschieden von ersteren ist. „Der hohe Gehalt an Magnesiumkarbonat im Untergrunde, das nicht unwichtig ist, die gleichmäßige Verwitterung zu einem tiefgründigen, meist genügend lockeren, etwas tonig-lehmigen, feinsandigen Boden, der nur in seinen obersten Teilen einen größeren Gehalt an Feinbestandteilen aufweist, bedingen den geschätzten ‚Malmboden‘ . . . Nur wenige Stellen sind so flachgründig, daß der Pflug Brocken des Muttergesteins mit heraufbringt, und dort gehen dann den eben besprochenen Hauptmuschelkalkböden ähnliche Verhältnisse hervor. Übrigens ist auch die kräftig rostbraune Farbe für die Trigonodusdolomitböden bezeichnend.“⁴⁾ Letzteres Merkmal wird auch auf Blatt Sulz-Glatt besonders verzeichnet, insofern als von einer rostroten bis rostbraunen Farbe gesprochen wird⁵⁾.

¹⁾ Axel Schmidt, Erl. z. geol. Spezialkarte von Württemberg Bl. 106/3630 Dornstetten/Dettingen. Stuttgart, 2. Aufl. 1926, S. 63.

²⁾ Axel Schmidt, Erl. z. Bl. Sulz-Glatt Nr. 118. 1931, S. 50.

³⁾ Erl. z. Bl. Nagold Nr. 94. 1920, S. 64.

⁴⁾ Vgl. Bl. Dornstetten/Dettingen (Axel Schmidt), S. 64.

⁵⁾ S. 52.

während M. Schmidt¹⁾ von einer tiefrotbraunen Farbe berichtet, durch welche sich gleichmäßig alle Böden auf *Trigonodusdolomit* auszeichnen sollen.

Jedoch nicht nur diese, sondern auch noch andere Lehmablagerungen finden sich im besagten Verbreitungsgebiet vor. Von diesen berichtet nicht nur M. Bräuhäuser, sondern auch in gleicher Weise die geologische Landesaufnahme. Hier sind zunächst die Diluviallehme zu nennen, sodann die aus dem Löß hervorgegangenen Lößlehme²⁾. „Ihrem Alter nach verteilen sich diese jungen Bildungen auf die Alluvial- und Diluvialperiode, reichen aber höchstwahrscheinlich bis ins jüngere Tertiär zurück.“³⁾ Auf Blatt Nagold ist z. B. ein Viertel der Oberfläche von Decken eines hellbräunlichgelb gefärbten, staubartig feinen, steinfreien Lehmes bedeckt⁴⁾. Der Lößlehm unterscheidet sich schon äußerlich von dem Löß durch eine mehr kräftigere, z. T. lebhaftere, hellgelbe Färbung, die besonders in den tieferen Lagen in eine rotbraune Farbtönung übergeht. Doch auch das Gefüge des Lößes hat sich verändert, insofern die einzelnen Körner dichter gelagert sind, womit eine größere Undurchlässigkeit verbunden ist. Dort wo sich Eisen- und Manganoxyside auf feinen Klüften ausgeschieden haben, ist noch lokal eine gewisse Verkittung vorhanden. „Solche Anreicherungen führen oft sogar zur Entstehung von bohnerzartigen Konkretionen“, und soll es sich hier um Anfänge der Bohnerzbildung handeln⁵⁾.

Über die Verwitterungsdecken im Muschelkalkhochland äußert sich M. Bräuhäuser, indem er sich auf die Einzelbeobachtungen im Gebiet der Blätter Schramberg, Alpirsbach und Oberndorf stützt, dahin, daß sich „schon seit langer Zeit immer zahlreichere Belege für das Vorhandensein schwerer, weithin verbreiteter Verwitterungsdecken“ ergeben haben, „deren große Mächtigkeit dafür sprach, daß es sich hier um Ablagerungen handeln mußte, die in diesem der Abspülung fast gänzlich entzogenen Gebiete im Laufe sehr langer Zeiten entstanden waren“ und daß dieselben „in engem Zusammenhang mit den bohnerzführenden Tonen und Lehmen“ stehen, „die als Kluftausfüllungen in den Schlotten und Spalten der in zahlreichen Steinbrüchen erschlossenen Muschelkalkschichten zu sehen sind“⁶⁾. Das Material der Kluftausfüllungen wird nach ihm durch

¹⁾ Siehe Bl. Nagold, S. 66.

²⁾ Vgl. hierzu u. a. die diesbezüglichen Ausführungen in den schon zitierten Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Württemberg.

³⁾ Axel Schmidt, Bl. Dornstetten/Dettingen, S. 41.

⁴⁾ Vgl. Bl. Nagold S. 45.

⁵⁾ M. Schmidt, Bl. Nagold S. 46.

⁶⁾ M. Bräuhäuser, l. c. S. 219.

schwere, dunkle Lehm Massen gestellt, die mit schrotkorngroßen Bohnererkügelchen meist ganz angefüllt sind und die den Spaltenausfüllungsmassen des Weißjurakalkes der Hochalb entsprechen. Außer manganhaltigem Eisenerz ist auch reichlich ein kieseliges Material von kleinen, eckigen Splittern bis zu stattlichen, schweren, knolligen Stücken vorhanden. Versinterungen mit Kalk haben zu Brekzien geführt, und eigenartig erweisen sich „rote, wie gebrannt aussehende, oft geradezu schlackenartige, gleichfalls beinahe zu natürlichem Beton verhärtete Füllmassen, die aus tiefen Schlotten des Trochitenkalks von Fluorn zuweilen auszubrechen waren, Fossilreste sind bisher hier noch keine zu entdecken gewesen“¹⁾. Diese Spaltenlehme werden von ihm als die in dieser Gegend wahrscheinlich ältesten Lehmbildungen der Klüfte des oberen Muschelkalks angesehen und für die „tonigen Verwitterungsrückstände des an Ort und Stelle zerstörten mo“ betrachtet. „Es sind eluviale Bildungen, deren Entstehung sehr wahrscheinlich noch in die Tertiärzeit zurückreicht und in der Gegenwart noch fort dauert.“²⁾ Sodann weist der Genannte darauf hin, daß auch neben Schlamm Massen mit Bohnerz Körnern grobstückiges, gerolltes Material und Feuersteinmasse, die durch Eisenerz verkrustet und schwarz und braun gefärbt erscheinen, auftreten und bemerkt dazu: „Offenbar handelt es sich um Gerölle, Steine und Erzbrocken, die von der Oberfläche in den verkarsteten Muschelkalk hinabgeschwemmt wurden und bis hierher und nicht weiter kamen.“³⁾ Ferner erweisen sich auch Sande der Lettenkohlschichten in die Kluftausfüllungen mit eingeschwemmt.

Eine weitere Verfolgung des Auftretens von Bohnerzbildungen oder deren Anfängen ergab einen markanten Gegensatz „zwischen den jungen alluvialen Gebieten, den Talzügen, den Ablagerungsschuttmassen und den Verwitterungsböden stark der Abspülung ausgesetzter Flächen einerseits und den Böden der der Erosion besser entrückten Gebiete der Höhen andererseits. Die einen enthielten niemals eine eigene, frische Bohnerzbildung, in den anderen aber ergab sich stets sofort mehr oder weniger Bohnerz, das offenbar an Ort und Stelle in eben diesen Böden durch den gewöhnlichen Verlauf der Verwitterungsvorgänge gebildet worden war“⁴⁾. Solches trifft nach Bräuhäuser für das ganze Muschelkalkgebiet des oberen Neckars zu, denn auf den alten, der Talbildung entzogenen Oberflächenteilen stößt man zumeist auf Bohnerz, sogar recht oft auf Knollen und Brocken desselben. Er nimmt infolgedessen an, daß hier „eine ziemlich

¹⁾ Ebenda, S. 220.

²⁾ M. Bräuhäuser, Bl. 129 Schra erg. 1909, S. 75 u. 76.

³⁾ M. Bräuhäuser, l. c., Jhefte d. Ver. f. vaterl. Naturkde, 72. Jahrg., 1916, S. 221.

⁴⁾ Ebenda, S. 221.

allgemein verbreitete Erscheinung“ vorliegt, die sich überall „im Schwarzwaldvorland, im mittelschwäbischen Stufenland und auf der Alb in den Verwitterungsböden“¹⁾ durch die Anwesenheit von Bohnerz bzw. beginnender Bohnerzbildung kennzeichnet, während im Gebiet des Bodensees, d. h. in dem von diluvialem Inlandeis zuletzt verlassenem Teil, Bohnerzkörner im Verwitterungslehm nur selten auftreten oder höchstens in den ersten Anfangsstadien angedeutet sind. Indem er sodann ausführlich auf die Entkalkungsvorgänge bei der Verwitterung bzw. Verlehmung kalkhaltiger Gesteine eingeht, faßt er die Bohnerzbildung im vorliegenden Verbreitungsgebiet als „eine gewisse Alterserscheinung eines solchen Verwitterungsbodens“ auf²⁾, die erst dann in Erscheinung treten kann, wenn „ein annähernder Abschluß derjenigen Vorgänge erreicht ist, die den Verwitterungsverlauf, d. h. die Bodenbildung aus dem Gestein einleiten und die . . . zunächst in der Verminderung oder Entfernung der Karbonate und der einleitenden Oxydierung des Eisens usf. bestehen“³⁾. „Nirgends“, so betont er nochmals, „ergab sich in den nachweislich geologisch ganz jungen Böden ein Beleg für stattgehabte Bohnerzbildung, nirgends war Bohnerz in jungen Obertflächenböden von Tälchen und dgl. auf ursprünglicher Lagerstatt nachzuweisen. Sobald aber die Muschelkalkhochfläche mit ihren geologisch älteren Böden erreicht war, stellten sich stets usf. in der Masse des Bodens entstandene und eingewachsene Bohnerzkörner ein“⁴⁾. Selbst innerhalb der Gruppe der Muschelkalkböden erblickt er in dem Umstande ihrer verschiedenen schnellen Verwitterungsfähigkeit eine Bedingung zur Ausbildung des Bohnerzes, wenn er ausführt: „Um ein Beispiel aus dem Muschelkalkgebiet zu wählen, sei des großen Unterschieds gedacht, der sich im Verhalten bemerklich macht zwischen den schweren Böden der Trochitenkalke und der *Nodosus*-Schichten einerseits und der leichten, trockenen rötlichen Böden des *Trigonodus*-*Dolomites* andererseits. Die letzteren werden viel schneller ausgelaugt und kalkarm und deshalb kommt es dann bei ihnen noch viel früher zur nachfolgenden Bohnerzbildung.“⁵⁾ Später erfolgende Umsetzungen unter dem Einfluß von Rohhumus gepaart mit einer Verschlechterung des Klimas nach der feuchteren und kühleren Seite werden sodann für eine Verfärbung der bohnerzführenden braunfarbigen Tonmasse in Anspruch genommen, indem er sich auf die Ausführungen besagter Art von Joh. Walther bezieht⁶⁾.

¹⁾ Ebenda, S. 222.

²⁾ Ebenda, S. 225.

³⁾ Ebenda, S. 225.

⁴⁾ Ebenda, S. 226.

⁵⁾ Ebenda, S. 228.

⁶⁾ Joh. Walther, Das geologische Alter und die Bildung des Laterits. Petermanns Mitt., 62. Jahrg 1916.

Auf unserer im Juli 1939 unternommenen Begehungsfahrt gelangten wir vom Norden kommend in das Gebiet des Württembergischen Muschelkalkes in der Gegend zwischen Mühlacker, Vaihingen, Leonberg und Weil der Stadt, woselbst wir den Muschelkalk vielfach bedeckt mit graubraun gefärbten Verwitterungslehmen fanden, die an manchen Stellen, wenn auch meist nur spärlich, kleine Bohnerzkörner enthielten, wie u. a. bei Eberdingen, am Schotterwerk an der Bahn von Weissach nach Heimerdingen und bei Flacht. Wenn es sich hierbei, wie in der Literatur vermutet wurde, um Reste einer alten Verwitterung handelt, so sind sie doch sicherlich stark umgelagert und verschwemmt, während die ursprüngliche Bildung nicht mehr zu erkennen ist. Roterdeähnliche Bildungen wurden von uns nirgends gefunden. Das Vorkommen von Bohnerzen dürfte wohl eher auf einen Transport derselben von ihrer ursprünglichen Bildungsstätte her, die möglicherweise recht weit entfernt gewesen sein kann, als durch Entstehung an ihren jetzigen Fundpunkten und in dem Lehm, in dem sie sich z. T. befinden, zurückzuführen sein. Dagegen ist es wohl durchaus möglich, daß diese Lehme recht alt (diluvial) sind. Untersuchungsproben wurden aus diesem Gebiete noch nicht entnommen.

In dem sich daran nach Süden anschließenden Gebiet von Nagold, Freudenstadt bis Villingen treten dagegen Terra rossa-artige Bildungen mit Bohnerz auf dem oberen Muschelkalk auf. Die ersten dieser Vorkommnisse trafen wir an der Straße südlich von Obersulz bei Wildberg an, nämlich bei der Bezeichnung Wbh. sowie am nördlichen Waldrande nördlich vom Punkt 591 auf der topographischen Karte 1:100000¹⁾. Einigermassen typisch war diese Terra rossa allerdings nur an dem zuerst genannten Fundort, wo klüftiger Kalkstein mit geringer Bodenbedeckung am Steilhang ansteht, während auf der Hochfläche selbst die Terra rossa-Bildung sich weniger typisch erweist. Der Fundort liegt an der Grenze des Vorkommens von mo_2 und mm , jedoch noch auf mo_2 , an der Straße von Ober-Sulz nach Oberjettingen.

Zur Untersuchung gelangten nur das Kalkgestein (Probe 1), das sich in seinem inneren, frischen Anteil als ein dunkelgrau gefärbter, dichter Kalk zeigt. Des weiteren stellt Probe 2 einen dunkelrotbraunen Lehm dar, der frei von Kalkbruchstücken ist und sich als mit Anteilen eines hellbraunen Lehms und mit zersetztem Kalk gemischt erweist. Die Kalkstückchen sind z. T. zermürbt, z. T. fest. In dem gesiebten Anteil der Probe konnten nur zwei streichholzkopfgröße, innen schwarz aussehende Bohnerzkörner festgestellt werden, so daß die Bohnerzföhrung hier nur als sehr gering angesehen werden darf.

¹⁾ Einzelblatt Nr. 145 Calv-Eßlingen-Freudenstadt-Reutlingen. Herausgegeben vom Württ. Statist. Landesamt.

Die chemische Untersuchung erstreckte sich auf die Analyse des in Salzsäure löslichen Anteils des Gesteins und des Bodens sowie desgleichen auf die Gesamtanalyse der in Salzsäure unlöslichen Rückstände, aus welchen Befunden die Gesamtzusammensetzung der Proben berechnet wurde. Dieser Methode bedienten wir uns auch in allen weiteren Untersuchungen der Kalkgesteine sowie der in Betracht kommenden Verwitterungsprodukte, soweit nicht später davon abgegangen werden mußte, worauf dann aber hingewiesen sein wird. Da jedoch der beim Gestein vorhandene nichtlösliche Anteil, d. h. der salzsäureunlösliche Rückstand, zumeist nur sehr gering ist, so wurde durch Behandlung einer sehr großen Gesteinsmischprobe mit Salzsäure eine größere Menge dieses Anteils für sich hergestellt und dieser untersucht. Des besseren Vergleichs der Befunde halber sowie auch besserer Einsicht wegen wurden schließlich noch die Werte, je nach Bedürfnis, auf von Wasser und von organischer Substanz befreite, bzw. auch noch auf karbonatfreie oder rückstandsfreie Masse bzw. Anteil umgerechnet und den unmittelbaren Befunden beigegeben. Demzufolge ergab die Untersuchung im vorliegenden Fall nachstehende Resultate:

Gesamtanalyse.

	Ursprüngliche Befunde		Befreit von Wasser, organischer Substanz und Karbonat	
	1 %	2 %	1 %	2 %
SiO ₂	2,97	44,52	72,34	52,91
TiO ₂	0,02	0,54	0,39	0,64
Al ₂ O ₃	0,42	19,43	10,20	23,09
Fe ₂ O ₃	0,26'	7,40	0,26	8,80
Mn ₂ O ₄	—	0,06	—	0,07
CaO	53,27	4,22	0,80	1,44
MgO	0,56	2,13	0,56	2,53
K ₂ O	0,18	2,10	4,38	2,50
Na ₂ O	0,03	0,30	0,73	0,36
P ₂ O ₅	0,05	0,17	1,24	0,20
SO ₃	0,01	—	0,22	—
CO ₂	42,39	2,36	—	—
org. Substanz . . .	—	0,34	—	—
Hydr. H ₂ O	0,12	6,27	2,87	7,46
Feuchtigkeit	—	10,04	—	—
Summe	100,28	99,88	99,99	100,00

Auf Grund dieses Analysenausfalls sei nur an dieser Stelle, da erst später gemeinsam mit den übrigen Befunden der weiteren Profile

Salzsäureunlöslicher Rückstand.

	1 %	2 %
SiO ₂	81,89	69,21
TiO ₂	0,40	0,82
Al ₂ O ₃	11,20	22,17
Fe ₂ O ₃	0,55	1,65
CaO	0,94	0,51
MgO	0,65	2,02
K ₂ O	3,68	2,88
Na ₂ O	0,14	0,42
Feuchtigkeit . .	0,74	0,47
Summe	100,19	100,15

Salzsäureauszüge.

	Probe 1		Probe 2		
	%	%	wasser- und org. Substanz frei %	kar- bonat- frei %	rück- stand- frei %
HCl-lösliches SiO ₂ . .	} 0,073	0,19	0,21	0,22	} 0,91
karb.-lösl. SiO ₂ . . .		(0,86)	(0,96)	(1,02)	
TiO ₂	0,002	0,01	0,01	0,01	0,04
Al ₂ O ₃	0,023	5,23	5,84	6,21	25,79
Fe ₂ O ₃	0,238	6,34	7,08	7,53	31,27
Mn ₃ O ₄	—	0,06	0,07	0,07	0,29
CaO	53,270	3,89	0,98	1,04	4,32
MgO	0,560	0,84	0,94	1,00	4,15
K ₂ O	0,050	0,26	0,29	0,31	1,29
Na ₂ O	0,025	0,03	0,03	0,03	0,12
P ₂ O ₅	0,051	0,17	0,19	0,20	0,83
SO ₃	0,009	—	—	—	—
CO ₂	42,390	2,36	CaCO ₃ 6,00	—	—
Hydr. H ₂ O	0,092	6,27		7,46	30,98
org. Substanz	—	0,34		—	—
Feuchtigkeit	—	10,04	—	—	—
Rückstand	3,546	63,85	71,34	75,91	—
Summe	100,329	99,88	99,99	99,99	99,99

hierauf näher eingegangen werden kann, darauf hingewiesen, daß der vorliegende, dunkelrotbraune Lehm in seiner Zusammensetzung einer Terra rossa-Bildung des Mittelmeergebietes, wenn auch nicht seinen typischsten Vertretern, entspricht, und daß ferner der salzsäureunlösliche Rückstand des zugehörigen Kalkgesteins weder Gleichheit noch Ähnlichkeit mit der Gesamtzusammensetzung des Lehms, noch mit

dem nichtkarbonatischen Anteil des Kalkgesteins hat. Auch ebenso wenig ergeben sich Beziehungen zwischen der Zusammensetzung der beiden unlöslichen Rückstände der Proben 1 und 2, die für die Entstehung des Lehms in Gestalt eines unmittelbaren Verwitterungsproduktes des Kalkgesteins, wie es die bekannte „Lösungstheorie“ verlangt, sprechen könnten.

Ein weiteres Profil lernten wir in einigen Aufschlüssen unweit von Pfrondorf an der „Buchhalde“ südwestlich der Höhe 583 am Waldrande bei Punkt 567,2 an der von Nagold über Mindersbach nach Wenden führenden Straße kennen, über welches Vorkommen sich M. Schmidt¹⁾ folgendermaßen ausspricht: „Grundsätzlich von den allothigenen Lößlehmdecken sind mächtigere Verwitterungsdecken zu scheiden, die sich auf Blatt Nagold an einigen günstigen Stellen als eluviale Bildung auf dem Kalkgebirge auch des Plateaus erhalten haben. Es ist bekannt, daß bei intensiver Verwitterung von nicht ganz reinem Kalkstein sehr allgemein ein rotbrauner, mäßig zäher, schließlich ganz kalkfreier Ton, die Terra rossa, entsteht. In hügeligem Gelände wird er von den höheren Stellen in der Regel bald bis auf geringe Reste wieder abgewaschen, vor allem, wenn ihm eine schützende Walddecke fehlt. Dann findet man Anhäufungen des Verwitterungsproduktes meist nur in den sog. Orgeln des klüftigen Gesteines, seltener in größeren, dolinenartigen Vertiefungen. Auf Blatt Nagold ist solches Eluvium des Kalkgebirges nur an einer Stelle auf Trochitenkalk anstehend zu beobachten, in kleinen Gruben bei Punkt 567,2 an der Straße von Mindersbach nach Nordwest, die nach Wenden führt.“

Wir konnten an Ort und Stelle feststellen, daß beim Fehlen eines mürben Verdrängungsersatzes dortselbst die intensiv rote Erde des Illuvialhorizontes die Lücken zwischen den durch Lösung gerundeten und mit einer dünnen ausgebleichten Schicht umgebenden Kalksteine sowie die tieferen Spalten vollständig ausfüllt. Die obersten Bodenschichten sind durch Humus braun gefärbt. Bohnerze, auch in ziemlich größeren Exemplaren auftretend, jedoch alle wohl gerundet, finden sich in allen Bodenschichten in reichlicher Menge vor. Durch den Regen werden sie ausgewaschen und an der Oberfläche angehäuft. Am Aufbau des Profils beteiligen sich nachstehende Horizonte, die mit Ausnahme der Probe 4 einer chemischen Untersuchung unterzogen wurden.

1. Dunkelgraubraun gefärbter Boden unmittelbar unter der noch dunkler gefärbten Grasnarbe. Er enthält wenige, meist scharfkantige Kalksteinbruchstücke und etwa $1\frac{1}{2}\%$ der Bodenmasse ausmachende

¹⁾ M. Schmidt, Erl. zu Bl. Nagold, S. 48.

Bohnerze, die vielfach zertrümmerte Körner, z. T. auch unregelmäßige Bruchstücke darstellen.

2. Gelbbraune Mittelschicht (Eluvialhorizont) mit nur wenigen, meist vererzten Kalkgesteinsstücken und $3\frac{1}{2}\%$ Bohnerz.

3. Illuvialhorizont (Terra rossa). Kalkbruchstücke sind fast nur in großen, im Innern frischen Stücken mit einer äußerlich heller gefärbten Verwitterungsrinde vorhanden, außerdem nur wenige, meist stark vererzte Splitter zugegen. Bohnerz in kleinen, fast immer kugelrunden Körnern beteiligt sich nur in einer Menge von $1\frac{1}{2}\%$ der Masse an der Zusammensetzung der Kalkroterde.

4. Bohnerze.

5. Dunkelgrau gefärbtes, sehr dichtes Kalkgestein von muschelartigem Bruch, das im Innern noch völlig frisch ist und an der Oberfläche nur wenig von einer Verwitterungsrinde überzogen wird.

Ob die Bohnerze als ursprüngliche Gebilde der Bodenbildung angehören, ist aus diesem Profil, wie auch aus vielen anderen, nicht mit Sicherheit zu entnehmen, doch hat auch hier die Annahme, daß dieselben sekundär, d. h. durch Transport hinzugeführt worden seien, viel für sich. Bei diesem Transport wurden sie gerundet. Unter den „Bohnerzgebilden“ der Probe 4 finden sich z. T. auch nur rein äußerlich als Bohnerz anzusprechende Körner, die in Wirklichkeit vererzte Quarze und quarzitishe Substanz darstellen. Sie kommen bis zu Haselnußgröße vor, sind auch nicht immer kugelförmig ausgebildet, sondern treten z. T. als länglich geformte, breit gestaltete Gebilde von der Beschaffenheit abgerollter und geglätteter Gerölle auf. Die kleineren, eigentlichen Bohnerzkörner lassen eine deutlich ausgebildete, konzentrische Schichtenanordnung erkennen.

Die Entstehung der Terra rossa als Illuvialhorizontbildung läßt sich im vorliegenden Profil sehr schön zeigen. Hinsichtlich der Farbe der Roterde möge noch besonders hervorgehoben sein, daß sich diese zwar, wie solches auch bei allen sonstigen, noch weiter zu behandelnden Profilen festzustellen war, ursprünglich, d. h. zur Zeit der Probeentnahme, als durchaus satt rotbraun erwies, jedoch diese Farbtönung beim Aufbewahren und Lagern im Laboratorium mehr und mehr in gelbbraun überging. Ferner sei noch erwähnt, daß alle Bodenbildungen des Profils einen tonigen bis lehmigen Gesamtcharakter aufweisen.

Die chemische Untersuchung dieser Proben brachte nachstehende Resultate (siehe Seite 179—182):

Vergleicht man die Befunde der nach verschiedenen Weisen umgerechneten Gesamtanalysen, so läßt sich leicht entnehmen, daß in der Zusammensetzung der Proben 1 und 2 ständig eine nähere Beziehung besteht, als solches zwischen diesen und der Probe 3, d. h. der Terra rossa, der Fall ist, so daß dieselbe eine andere Stellung in der stoff-

Gesamtanalysen.

	1 Dunkelgrau- brauner Boden unter der Grasnarbe %	2 Gelbbrauner Eluvial- horizont %	3 Intensiv rote Terra rossa (Illuvial- horizont) %	5 Kalkstein %
SiO ₂	59,91	64,55	50,37	1,77
TiO ₂	0,60	0,71	0,63	0,01
Al ₂ O ₃	13,63	12,88	17,99	0,41
Fe ₂ O ₃	5,99	6,56	8,56	0,23
Mn ₃ O ₄	0,05	0,09	0,10	—
CaO	1,66	1,54	1,69	53,34
MgO	1,73	1,37	1,82	0,80
K ₂ O	2,28	1,80	2,15	0,20
Na ₂ O	0,50	0,63	0,34	0,04
P ₂ O ₅	0,19	0,14	0,17	0,04
SO ₃	0,01	Sp.	Sp.	0,01
CO ₂	0,34	0,12	0,19	42,65
org. Substanz	2,97	0,80	0,50	—
Hydr. H ₂ O .	5,58	4,68	8,28	0,14
Feuchtigkeit.	4,80	4,09	7,02	0,04
Summe . . .	100,24	99,96	99,81	99,68

Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	5 %
SiO ₂	64,79	67,90	54,58	1,78
TiO ₂	0,65	0,75	0,68	0,01
Al ₂ O ₃	14,74	13,55	19,49	0,41
Fe ₂ O ₃	6,48	6,90	9,28	0,23
Mn ₃ O ₄	0,05	0,09	0,11	—
CaO	1,33	1,46	1,57	0,01
MgO	1,87	1,44	1,97	0,03
K ₂ O	2,47	1,87	2,33	0,20
Na ₂ O	0,54	0,66	0,37	0,04
P ₂ O ₅	0,21	0,15	0,18	0,04
SO ₃	0,01	Sp.	Sp.	0,01
Hydr. H ₂ O .	6,03	4,92	8,97	0,14
CaCO ₃	0,83	0,28	0,47	95,14
MgCO ₃	—	—	—	1,62
Summe . . .	100,00	99,99	100,00	100,02

lichen Beschaffenheit einnimmt, denn sie verfügt über einen beträchtlich niedrigeren SiO₂-Gehalt, einen höheren Al₂O₃- und Fe₂O₃-Gehalt, ebenso wie über eine sehr vermehrte Menge an Hydratwasser, wegen

Desgleichen wasser-, organische Substanz- und karbonatfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	5 %
SiO ₂	65,22	68,10	54,84	61,51
TiO ₂	0,66	0,75	0,68	0,42
Al ₂ O ₃	14,86	13,59	19,58	14,24
Fe ₂ O ₃	6,54	6,92	9,32	7,88
Mn ₂ O ₄	0,05	0,09	0,11	—
CaO	1,34	1,46	1,58	0,31
MgO	1,88	1,44	1,98	0,87
K ₂ O	2,49	1,90	2,34	6,88
Na ₂ O	0,54	0,66	0,37	1,35
P ₂ O ₅	0,21	0,15	0,18	1,49
SO ₃	0,01	Sp.	Sp.	0,21
Hydr. H ₂ O . .	6,09	4,93	9,01	4,83
Summe . . .	99,99	99,99	99,99	99,99

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes.

	1 %	2 %	3 %	5 %
SiO ₂	80,09	81,91	73,64	73,52
TiO ₂	0,79	0,89	0,91	0,38
Al ₂ O ₃	12,52	11,09	17,64	16,14
Fe ₂ O ₃	1,42	1,31	2,20	1,18
CaO	0,58	0,85	0,50	0,41
MgO	1,22	1,02	1,68	1,07
K ₂ O	2,53	2,02	2,74	6,48
Na ₂ O	0,63	0,75	0,45	0,22
H ₂ O	0,22	0,23	0,37	0,50
Summe . . .	100,00	100,07	100,13	99,90

die Gehaltszahlen an Erdalkalien und Alkalien sowie an Phosphorsäure und Schwefelsäure nicht allzu sehr voneinander abweichen. Auch in der Gesamtzusammensetzung des salzsäureunlöslichen Anteils der Proben macht sich ein derartiger Unterschied geltend, indem auch hier Probe 1 und 2 sogar fast völlig übereinstimmen, dagegen Probe 3 wiederum einen geringen SiO₂- und einen höheren Sesquioxyd-Gehalt aufweist. Des weiteren lehren die Zahlen der Salzsäureauszüge dasselbe Verhältnis, denn die Proben 1 und 2 zeigen sich auch hier durchaus als nahestehende Bildungen, jedoch Probe 3 auch hier wiederum davon abweichend, was besonders durch die Werte der Sesquioxyde, des Hydratwassers und der Menge des unlöslichen Rückstandes zum Ausdruck kommt. Mit anderen Worten, der dunkelgraubraun gefärbte

Salzsäureauszüge.

	1 %	2 %	3 %	5 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,18	0,16	0,17	
karb.-lösl. SiO ₂	(0,86)	(0,81)	(0,71)	0,08
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃	4,29	4,16	5,97	0,04
Fe ₂ O ₃	4,93	5,53	7,06	0,20
Mn ₃ O ₄	0,05	0,09	0,10	—
CaO	1,23	0,87	1,35	53,33
MgO	0,82	0,57	0,67	0,77
K ₂ O	0,39	0,21	0,28	0,05
Na ₂ O	0,03	0,04	0,03	0,04
P ₂ O ₅	0,19	0,14	0,17	0,04
SO ₃	0,01	Sp	Sp.	0,01
Glühverlust .	13,69	9,69	15,99	42,83
(H ₂ O ⁻)	(4,80)	(4,09)	(7,02)	(0,04)
(CO ₂)	(0,34)	(0,12)	(0,19)	(42,65)
(org. Subst.)	(2,97)	(0,80)	(0,50)	—
Rückstand .	74,41	78,48	68,00	2,30
Summe . . .	100,23	99,95	99,80	99,69

Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	5 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,19	0,17	0,18	
karb.-lösl. SiO ₂	(0,93)	(0,85)	(0,77)	0,08
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃	4,64	4,38	6,47	0,04
Fe ₂ O ₃	5,33	5,82	7,65	0,20
Mn ₃ O ₄	0,05	0,09	0,11	—
CaO	0,87	0,76	1,20	—
MgO	0,89	0,60	0,73	—
K ₂ O	0,42	0,22	0,30	0,05
Na ₂ O	0,03	0,04	0,03	0,04
P ₂ O ₅	0,21	0,15	0,18	0,04
SO ₃	0,01	Sp.	Sp.	0,01
Hydr. H ₂ O .	6,04	4,92	8,97	0,13
CaCO ₃	0,83	0,28	0,47	95,50
MgCO ₃	—	—	—	1,61
Rückstand .	80,48	82,56	73,69	2,31
Summe . . .	100,00	100,00	99,99	100,01

Boden unter der Grasnarbe und der gelbbraun gefärbte Eluvialhorizont erweisen sich genetisch als durchaus zusammengehörend, von welchen

Desgleichen karbonatfrei umgerechnet.

	1 %	2 %	3 %	5 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,19	0,17	0,18	
karb.-lösl. SiO ₂	(0,94)	(0,85)	(0,77)	2,76
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃	4,68	4,39	6,50	1,38
Fe ₂ O ₃	5,37	5,84	7,69	6,90
Mn ₂ O ₄	0,05	0,09	0,11	—
CaO	0,88	0,76	1,21	—
MgO	0,90	0,60	0,73	—
K ₂ O	0,42	0,22	0,30	1,72
Na ₂ O	0,03	0,04	0,03	1,38
P ₂ O ₅	0,21	0,15	0,18	1,38
SO ₃	0,01	Sp.	Sp.	0,34
Hydr. H ₂ O . .	6,09	4,93	9,01	4,48
Rückstand . .	81,15	82,79	74,05	79,66
Summe	99,99	99,99	100,00	100,00

Desgleichen auch auf vom Rückstand befreite Substanz umgerechnet.

	1 %	2 %	3 %	5 %
SiO ₂	1,01	0,99	0,69	13,57
TiO ₂	0,05	0,06	0,04	Sp.
Al ₂ O ₃	24,84	25,52	25,05	6,78
Fe ₂ O ₃	28,50	33,95	29,63	33,92
Mn ₂ O ₄	0,26	0,52	0,43	—
CaO	4,67	4,42	4,66	—
MgO	4,77	3,49	2,81	—
K ₂ O	2,23	1,28	1,16	8,47
Na ₂ O	0,16	0,24	0,12	6,78
P ₂ O ₅	1,12	0,87	0,69	6,78
SO ₃	0,05	Sp.	Sp.	1,67
Hydr. H ₂ O . .	32,33	28,66	34,72	22,03
Summe	99,99	100,00	100,00	100,00

die Terra rossa abweicht, wohl aber auf Grund ihrer Zusammensetzung als eine Illuvialhorizontbildung angesprochen werden kann. Nur die Zusammensetzung des in Salzsäure löslichen Anteils aller drei Proben, wie es die Umrechnung für den auch vom Rückstand befreiten Substanzanteil der Salzsäureauszüge wiedergibt, zeigt sich verhältnismäßig gleichartig, woraus im Gegensatz zu obiger Feststellung auf eine nahezu gleiche Konzentration der beweglichen, bzw. leichter löslichen Substanzanteile geschlossen werden könnte. Ferner ließe sich aus der Zu-

sammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Teils der Proben 3 und 5, also der der Terra rossa und des Kalkgesteins, ihre nahezu gleichartige Beschaffenheit entnehmen, was für die Lösungstheorie ins Feld geführt werden könnte. Demgegenüber ist aber darauf hinzuweisen, daß solches den Befunden des in Salzsäure löslichen Anteils der Proben 3 und 5 nach Umrechnung auf die vom unlöslichen Rückstand befreite Substanz widerspricht. Ebenso wenig entspricht die Zusammensetzung des salzsäureunlöslichen Rückstandes des Kalkgesteins derjenigen der Probe 3, d. h. der Terra rossa, wie es die Lösungstheorie verlangen würde. Daß demgegenüber die Probe 3 die Beschaffenheit einer Terra rossa-Bildung erkennen läßt, geht aus den analytischen Ermittlungen ohne weiteres hervor.

In dem Aufschluß des Kalkwerkes dicht nördlich vom Punkt 560 an der Straße von Mötzingen nach Nagold stießen wir abermals auf Roterde, jedoch diesmal ausgebildet auf Trigonodusdolomit, welche Vorkommnisse nach M. Schmidt reichlicher in Erscheinung treten sollen. Bezüglich dieses Aufschlusses am „Apotheker“ berichtet der Genannte wie folgt: „Es ist bekannt, daß poröser Dolomit vielfach durch bloße Lockerung des Gefüges in eine weiche, schneidbare, schließlich pulverige, lehmartig lockere ‚Asche‘ aus kleinsten Dolomitrhomboederchen zerfällt. Erst eine weitere, intensive Zersetzung und Auslaugung nahe der Oberfläche, im Wurzelbereich der kleineren Pflanzen entfernt die Karbonate ganz, so daß auch hier tonige, oft ganz steinfreie Terra rossa entsteht. Dieser Prozeß der Dolomitverwitterung ist in allen seinen Stadien, die sich auf eine Profilmächtigkeit von nahezu 3 m verteilen, zur Zeit in einem kleinen Aufschluß am ‚Apotheker‘, einige hundert Meter südlich der Straße Nagold-Mötzingen gut zu beobachten. Daß etwas Ähnliches und anderwärts auf dem Blatte unter steinfreien, aber durch ihre tief rotbraune Farbe als Erzeugnis der Malmsteinverwitterung deutlich gekennzeichneten Ackerflächen noch verborgen ist, haben z. B. gelegentliche kleine Aufschlüsse im Acker östlich von Dürrenhardt bewiesen.“¹⁾ Daß schließlich eine Beimischung äolischen Materials auf derartigen Verwitterungsdecken nicht ganz ausgeschlossen erscheint, wird noch besonders von ihm erwähnt.

Die von uns zur Untersuchung entnommenen Proben waren folgende:

1. Dunkelbraun gefärbter Boden aus 20—30 cm Tiefe unter der Grasnarbe mit vielen, meist gerundeten Kalkbruchstücken von z. T. erdig-weicher Beschaffenheit. Außerdem sind kleine Bohnerze reichlich vorhanden.

2. Rötlichbraun gefärbter, stark toniger Illuvialhorizont über dem Verdrängungsersatz (Probe 4), nur wenige, meist ganz mürbe kleine

¹⁾ M. Schmidt, Erl. zu Bl. Nagold, S. 49.

Kalkbruchstückchen führend. Bohnerz ist nur in halber Menge der Probe 1 vertreten.

3. Rötlichbraun gefärbter Illuvialhorizont als Spaltenfüllung in und unter dem Verdrängungsersatz. Nur sehr wenige, ziemlich weiche Kalkbruchstücke sind darin enthalten, die mit einem „Schimmel“ von Calciumkarbonat überzogen sind. Bohnerz ist nicht zugegen.

4. „Verdrängungsersatz“, bestehend aus etwa zur Hälfte zersetztem Kalk von z. T. fester aber löcheriger Beschaffenheit, z. T. sandig zerfallen. Auch hier ist kein Bohnerz vorhanden.

6. Konkretionartig aussehende, zersetzte Kalksteinstücke, überzogen mit einer mehr oder weniger starken Rinde aus rotgelben Umwandlungsprodukten, welche die metasomatische Verdrängung des Kalkes durch Eisen deutlich wiedergeben. (Diese Probe wurde nicht analysiert.)

7. „Frischer Kalkstein“, der ein schuppig ausgebildetes, hellgrün gefärbtes, wenig angegriffenes dichtes Gestein darstellt, das nur vereinzelte, kleine, rot gefärbte, eisenoxydführende Stellen auf Adern und in Vertiefungen erkennen läßt.

Gesamtanalyse.

	1 Brauner Lehm unter der Grasnarbe %	2 Illuvial- horizont über dem Ver- drängungs- ersatz (dunkel- rotbraun) %	3 Spalten- füllung (zäher rötlich- brauner Lehm) %	4 Ver- drängungs- ersatz (rotbrauner Lehm) %	7 Gestein %
SiO ₂ . . .	39,89	38,23	39,57	19,09	2,18
TiO ₂ . . .	0,43	0,44	0,46	0,24	0,02
Al ₂ O ₃ . . .	8,24	16,51	17,32	8,62	0,46
Fe ₂ O ₃ . . .	5,76	11,29	11,17	5,91	0,30
Mn ₂ O ₄ . . .	0,10	0,05	0,12	0,03	—
CaO . . .	10,74	4,88	3,94	20,93	52,28
MgO . . .	8,27	4,56	3,88	10,09	1,75
K ₂ O . . .	1,56	1,57	1,91	0,91	0,13
Na ₂ O . . .	0,40	0,23	0,25	0,12	0,03
P ₂ O ₅ . . .	0,17	0,19	0,33	0,12	0,05
SO ₃ . . .	Sp.	Sp.	0,01	0,01	Sp.
CO ₂ . . .	15,91	5,19	3,69	26,43	42,67
org. Substanz	1,18	0,89	0,38	0,40	—
Hydr. H ₂ O .	4,32	6,04	5,91	2,97	0,12
Feuchtigkeit	3,06	9,99	11,51	4,28	0,06
Summe . .	100,03	100,06	100,45	100,15	100,05

Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO ₂ . . .	41,64	42,87	44,68	20,00	2,20
TiO ₂ . . .	0,45	0,49	0,52	0,25	0,02
Al ₂ O ₃ . . .	8,60	18,51	19,56	9,03	0,45
Fe ₂ O ₃ . . .	6,01	12,66	12,61	6,19	0,30
Mn ₃ O ₄ . . .	0,10	0,06	0,14	0,03	—
CaO . . .	0,32	0,28	0,29	0,16	0,02
MgO . . .	1,24	3,51	3,56	0,92	0,11
K ₂ O . . .	1,63	1,76	2,16	0,95	0,13
Na ₂ O . . .	0,42	0,26	0,28	0,13	0,03
P ₂ O ₅ . . .	0,18	0,21	0,37	0,13	0,05
SO ₃ . . .	Sp.	Sp.	0,01	0,01	Sp.
Hydr. H ₂ O .	4,51	6,77	6,67	3,11	0,12
CaCO ₃ . .	19,43	9,26	7,42	38,85	93,42
MgCO ₃ . .	15,46	3,35	1,73	20,24	3,17
Summe . .	99,99	99,99	100,00	100,00	100,02

Desgleichen wasser-, organische Substanz- und karbonatfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO ₂ . . .	63,96	49,06	49,18	48,89	63,97
TiO ₂ . . .	0,69	0,56	0,57	0,61	0,41
Al ₂ O ₃ . . .	13,21	21,18	21,53	22,07	13,32
Fe ₂ O ₃ . . .	9,23	14,49	13,88	15,13	8,69
Mn ₃ O ₄ . . .	0,15	0,07	0,15	0,07	—
CaO . . .	0,49	0,32	0,32	0,39	0,53
MgO . . .	1,90	4,02	3,92	2,25	3,32
K ₂ O . . .	2,50	2,01	2,38	2,32	3,76
Na ₂ O . . .	0,65	0,30	0,31	0,32	0,97
P ₂ O ₅ . . .	0,28	0,24	0,41	0,32	1,47
SO ₃ . . .	Sp.	Sp.	0,01	0,02	0,09
Hydr. H ₂ O .	6,93	7,75	7,34	7,60	3,48
Summe . .	99,99	100,00	100,00	99,99	100,01

Ein Vergleich der ursprünglich von uns gewonnenen Gesamtanalysenbefunde untereinander weist zwar darauf hin, daß zwischen den Proben 1, 2 und 3 eine gewisse Beziehung besteht, dennoch weichen 2 und 3 von 1 erheblich ab, insofern, als ihr Gehaltsanteil an Sesquioxiden einerseits und an Erdalkalien andererseits beträchtlich voneinander verschieden ist, und dieses zwar im umgekehrten Sinne der Fall ist. Aus diesem Verhalten ist der Schluß zu ziehen, daß es sich

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO ₂	78,29	67,47	68,93	60,83	79,66
TiO ₂	0,83	0,76	0,79	0,79	0,45
Al ₂ O ₃	12,78	21,84	20,27	23,55	13,51
Fe ₂ O ₃	2,24	4,51	3,41	8,38	0,98
CaO	0,62	0,44	0,46	0,48	0,70
MgO	1,38	2,29	2,33	2,81	0,87
K ₂ O	2,81	2,47	2,81	2,58	2,97
Na ₂ O	0,71	0,34	0,38	0,27	0,14
H ₂ O	0,30	0,39	0,39	0,41	0,90
Summe . .	99,96	100,51	99,77	100,10	100,18

Desgleichen wasserfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO ₂	78,56	67,43	69,36	61,02	80,24
TiO ₂	0,83	0,76	0,80	0,79	0,45
Al ₂ O ₃	12,82	21,81	20,40	23,62	13,60
Fe ₂ O ₃	2,25	4,50	3,43	8,41	0,99
CaO	0,62	0,44	0,46	0,48	0,70
MgO	1,38	2,28	2,34	2,82	0,88
K ₂ O	2,82	2,46	2,82	2,58	3,00
Na ₂ O	0,71	0,34	0,38	0,27	0,14
Summe . .	99,99	100,02	99,99	99,99	100,00

Salzsäureauszüge.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,20	0,20	0,19	0,24	} 0,08
karb.-lösl. „	(1,05)	(0,93)	(0,88)	(0,50)	
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	Sp.	Sp.
Al ₂ O ₃	1,76	4,20	5,74	1,32	0,10
Fe ₂ O ₃	4,62	8,75	9,22	3,31	0,27
Mn ₃ O ₄	0,10	0,05	0,12	0,03	—
CaO	10,43	4,63	3,68	20,78	52,28
MgO	7,57	3,27	2,55	9,22	1,60
K ₂ O	0,14	0,18	0,30	0,11	0,05
Na ₂ O	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
P ₂ O ₅	0,17	0,19	0,33	0,12	0,05
SO ₃	Sp.	Sp.	0,01	0,01	Sp.
Glühverlust	24,47	22,11	21,49	34,08	42,83
(H ₂ O ⁻) . .	(3,06)	(9,99)	(11,51)	(4,28)	(0,06)
(CO ₂)	(15,91)	(5,19)	(3,69)	(26,43)	(42,67)
(org. Subst.)	(1,18)	(0,89)	(0,38)	(0,40)	—
Rückstand .	50,52	56,44	56,78	30,89	2,65
Summe . .	100,03	100,07	100,07	100,15	99,94

Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
HCl-lösl. SiO_2	0,21	0,22	0,21	0,25	} 0,08
karb.-lösl. „	(1,10)	(1,04)	(0,99)	(0,52)	
TiO_2 . . .	0,01	0,01	0,01	Sp.	Sp.
Al_2O_3 . . .	1,84	4,71	6,48	1,38	0,10
Fe_2O_3 . . .	4,82	9,81	10,41	3,47	0,27
Mn_3O_4 . . .	0,10	0,06	0,14	0,03	—
CaO	—	—	—	—	52,34
MgO	0,49	2,06	2,06	0,01	1,60
K_2O	0,15	0,20	0,34	0,12	0,05
Na_2O	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03
P_2O_5	0,18	0,21	0,37	0,13	0,05
SO_3	Sp.	Sp.	0,01	0,01	Sp.
Hydr. H_2O	4,51	6,77	6,67	3,11	0,10
CaCO_3 . . .	19,43	9,26	7,42	38,85	CO_2 42,72
MgCO_3 . . .	15,46	3,35	1,73	20,24	—
Rückstand .	52,74	63,28	64,11	32,36	2,65
Summe . .	99,98	99,98	99,99	100,00	99,99

Desgleichen karbonatfrei umgerechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO_2	0,32	0,25	0,23	0,61	2,40
TiO_2	0,02	0,01	0,01	Sp.	Sp.
Al_2O_3	2,83	5,39	7,13	3,37	3,00
Fe_2O_3	7,41	11,23	11,46	8,48	8,10
Mn_3O_4	0,15	0,07	0,15	0,07	—
CaO	—	—	—	—	—
MgO	0,75	2,36	2,27	0,02	—
K_2O	0,23	0,23	0,37	0,29	1,50
Na_2O	0,06	0,05	0,04	0,10	0,90
P_2O_5	0,28	0,24	0,41	0,32	1,50
SO_3	Sp.	Sp.	0,01	0,02	Sp.
Hydr. H_2O	6,93	7,75	7,34	7,60	3,00
Rückstand .	81,03	72,43	70,57	79,10	79,60
Summe . .	100,01	100,01	99,99	99,98	100,00

in Probe 2 und 3, die unter sich kaum stark differieren, um Illuvialhorizontbildungen von Probe 1 handelt. Wenn die Probe 4, der Verdrängungzersatz, in ihrer Zusammensetzung erheblich von allen übrigen Proben abweicht, so kann dieses nicht besonders verwundern, weil ja diese Probe noch zu stark mit Kalkanteilen des Gesteins verunreinigt ist. Schon die Umrechnung auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse unter gleichzeitiger Angabe des

Desgleichen auch auf vom Rückstand befreite Substanz umgerechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	7 %
SiO ₂ . . .	1,69	0,91	0,78	2,92	11,76
TiO ₂ . . .	0,11	0,04	0,03	Sp.	Sp.
Al ₂ O ₃ . . .	14,91	19,54	24,24	16,14	14,71
Fe ₂ O ₃ . . .	39,04	40,72	38,95	40,61	39,71
Mn ₂ O ₄ . . .	0,79	0,25	0,51	0,34	—
CaO	—	—	—	—	—
MgO	3,95	8,56	7,72	0,10	—
K ₂ O	1,21	0,83	1,26	1,39	7,35
Na ₂ O	0,32	0,18	0,14	0,49	4,41
P ₂ O ₅	1,48	0,87	1,39	1,53	7,35
SO ₃	Sp.	Sp.	0,03	0,10	Sp.
Hydr. H ₂ O .	36,51	28,10	24,95	36,40	14,71
Summe . . .	100,01	100,00	100,00	100,02	100,00

Gehaltes der einzelnen Proben an kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia weist noch deutlicher auf den Umstand hin, in Probe 2 und 3 einen Illuvialhorizont erblicken zu dürfen, da bei dem nahezu gleichen Gehalt der Proben 1, 2 und 3 an Kieselsäure nunmehr der Unterschied im Gehalt der Sesquioxide noch mehr in Erscheinung tritt. Jedoch ist dieses nicht etwa als eine Folge des gleichzeitig in Probe 2 und 3 verringerten Gehaltes an CaCO₃ und MgCO₃ gegenüber Probe 1 anzusehen, sondern als Ausdruck der metasomatischen Verdrängung der Karbonate durch Eisen. Im Fall der weiteren Umrechnung auf wasser-, organische Substanz- und karbonatfreie Substanz läßt sich solches schließlich noch deutlicher erkennen, denn dann zeigen sich alle drei Proben 2, 3 und auch 4 als nahezu gleich zusammengesetzt, und nur die Probe 1 weicht in ihrem Gehalt an Kieselsäure und Sesquioxiden beträchtlich davon ab. Daß in den Proben 1, 2 und 3 lediglich eine Verschiebung des Gehaltes an Al₂O₃ und Fe₂O₃ stattgefunden hat, ergibt sich auch aus folgender Gegenüberstellung bzw. Verrechnung der Zahlenwerte der ursprünglichen Analysenbefunde:

	1 %	2 %	3 %
CaCO ₃ }			
MgCO ₃ }	34,92	14,63	11,51
Al ₂ O ₃ }			
Fe ₂ O ₃ }	14,00	27,80	28,49
H ₂ O+ }			
H ₂ O- }	7,38	16,03	17,42
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + H ₂ O = .	21,38	43,83	45,91
Gesamtsumme	56,30	58,46	57,42

Diese Zusammenstellung lehrt, daß nur eine Illuvialhorizontbildung Platz gegriffen haben kann, um so mehr, als die Kieselsäure sowie die sonstigen Bestandteile keine nennenswerte Veränderung erfahren haben, denn bei einem alleinigen Ersatz des durch Auflösung entfernten Gehaltes an CaCO_3 und MgCO_3 müßten auch die Kieselsäure und die sonstigen Bestandteile eine wesentliche Erhöhung erfahren haben, was aber, wie ersichtlich, nicht der Fall gewesen ist. Dabei erweist es sich aber als ganz besonders beachtenswert, daß die umgerechneten analytischen Befunde der Probe 1 und Probe 7, also des braunen Lehms unter der Grasnarbe und des nichtkarbonatischen Anteils des Kalkgesteins, fast die gleiche Zusammensetzung zeigen, was den Anforderungen der Lösungstheorie durchaus nicht entsprechen dürfte.

Zur Beurteilung der Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes der Proben eignet sich am besten die Umrechnung auf wasserfreie Substanz. Sie bringt den nahezu gleichen chemischen Aufbau der Proben 2 und 3, d. h. also der Roterde über dem Verdrängungsersatz und der Spaltenausfüllungsmasse, zur Wiedergabe. Auch steht hiervon nicht sehr entfernt die Probe 4, nämlich der rotbraune Lehm im Verdrängungsersatz. Hier ist der Gehalt an Kieselsäure etwas erniedrigt, dagegen der an Sesquioxiden, namentlich Eisenoxyd, etwas erhöht. Dies ist jedenfalls die Folge der hier zur Ausbildung gelangten metasomatischen Verdrängungszone, die die Anhäufung der Sesquioxyde hervorgerufen hat. Da alle übrigen Bestandteile in gleicher Höhe zugegen sind, so wird diese Schlußfolgerung dadurch bekräftigt. Demgegenüber zeigen sich Probe 1, der braune Lehm unter der Grasnarbe, und ebenso auch Probe 7, der in Salzsäure unlösliche Kalkgesteinsanteil, wesentlich hiervon verschieden, jedoch unter sich nahezu gleichartig zusammengesetzt, was deutlich für ihre Zusammengehörigkeit spricht.

Schon die Befunde der ursprünglich ermittelten Zahlenwerte der Salzsäureauszüge weisen wiederum auf die Gleichartigkeit der Proben 2 und 3 hin, und noch deutlicher tritt dieses in den Umrechnungen auf von Feuchtigkeit und organischer Substanz befreite, sowie auch noch von Karbonat befreiter Masse hervor. Jedoch Probe 4 verhält sich in allen Fällen noch etwas mehr abweichend, was gleichfalls auf ihre Natur als metasomatischer Verdrängungshorizont gebucht werden darf. Wohl aber läßt sich eine gewisse Annäherung in der Zusammensetzung der Proben 4 und 1 wahrnehmen, was besonders für die Menge des Rückstandes, des Hydratwassers und des Eisens, wie auch noch der Tonerde gilt. Probe 7 weicht dagegen mit Ausnahme der Rückstandsmenge erheblich von allen übrigen Proben ab. Alle diese Befunde weisen wiederum auf die Illuvialhorizontnatur der Böden 2 und 3,

also der Roterde, hin. Zieht man nun noch die Umrechnungswerte der Salzsäureauszüge auch auf die vom Rückstand befreite Substanz in Rücksicht, so kommt bis zu einem gewissen Grade auch wieder die Annäherung der Probe 4 an Probe 2 und 3 in ihrem Aufbau zur Geltung. Aber trotz der zufälligen Übereinstimmung in den Gehaltsmengen der Sesquioxide der Probe 1 und 7, die lediglich als Folge einer relativen Verschiebung, bedingt durch die Anteilnahme der übrigen Bestandteile, zu gelten hat, ist keine Beziehung zwischen der stofflichen Zusammensetzung des salzsäurelöslichen Anteils des Kalkgesteins und desjenigen der Umwandlungs- oder Verwitterungsprodukte zu entnehmen. Dennoch weist das Gesamtanalysenmaterial darauf hin, daß zwischen Gestein und braunem Lehm einerseits, sowie rötlich-braunem Illuvialhorizont und Spaltenausfüllung andererseits, jeweils nähere Beziehungen bestehen, wogegen der Verdrängungshorizont gewissermaßen eine Mittel- bzw. verbindende Stellung einnimmt, was nahe legt, im braunen Lehm ein unmittelbares Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins zu erblicken, während die übrigen Bildungen den Charakter metasomatischer Umwandlungs- oder Illuvialhorizontgebilde tragen.

Weiter nach Süden wurden typische Terra rossa-Profile auf unserer Begehungsfahrt nicht mehr gefunden. Einigermäßen zufriedenstellend war zwar noch ein Aufschluß nördlich von Dornstetten, wo Bohnerztone auf Muschelkalk lagern und z. Z. ziemlich rote Farbe zeigen. Proben wurden dortselbst aber nicht genommen.

Bei Dürrenmettstetten an der Straße nach Leinstetten in dem Aufschluß der „Ziegelhütte“ war der Kalkstein nicht entblößt und nur ein gelber Lehm mit einzelnen Bohnerzkrörnern aufgeschlossen, von dem eine Probe zur Untersuchung entnommen wurde. Axel Schmidt¹⁾ schreibt über diese Lokalität: „Wo ‚mo₂‘ auf der Hochfläche zutage tritt, dort zeigt sich neben der . . . Tiefgründigkeit ein auffallend starkes Zurücktreten der Kalkstücke; es entstehen Böden, die so lehmähnlich werden, daß sie durch eine besondere Aufhellung auf der Karte dargestellt sind. Die einzige im Hauptmuschelkalbbereich vorhandene Dürrenmettstetter Ziegelhütte bedient sich daher dieses Lehmest zum Ziegelbrennen. Die wenigen Kalkstücke werden durch Auslesen beseitigt, beweisen aber, daß nicht äolisch herbeigeführter, sondern durch Verwitterung entstandener Lehm vorliegt. Südlich von Dornhan finden wir in ähnlichen Böden Bohnerzbrocken für die M. Bräuhäuser in den Erläuterungen zu Blatt Alpirsbach ein wahrscheinlich tertiäres Alter in Anspruch nimmt.“ Allerdings kann nach A. Schmidt diese Frage aus Mangel an Fossilien nicht

¹⁾ Axel Schmidt, Erl. zu Bl. Sulz-Glatt Nr. 118, 1931, S. 23.

entschieden werden und werden diese Bohnerzbildungen daher von ihm als altdiluvial bezeichnet, wenn auch mit ausdrücklichem Vorbehalt. Auch weist er darauf hin, daß sie nach neueren Auffassungen von Martin Schmidt und Egon Böhm ins Günz-Mindel-Interglazial zu stellen seien¹⁾.

Der gelbe Lehm ist ganz leicht zerreiblich und nur mit sehr wenig kleinen, meist vererzten Kalksplittern vermischt. Auch die Anteilnahme der Bohnerzkörner ist nur sehr gering, sie beträgt noch nicht einmal 1% der Lehmmasse. Die Bohnerzkörner sind weich und mit einer noch weicheren Schale umgeben, der Kern ist etwas härter. Sie sind meist schwarz, selten innen braun gefärbt.

Die chemische Untersuchung des gelben Lehms erbrachte nachstehende Resultate:

Gesamtanalysen.

	Ursprünglicher Befund	Frei von Wasser, org. Substanz und Karbonat berechnet	Salzsäure- unlöslicher Rückstand
	%	%	%
SiO ₂	67,63	70,71	81,63
TiO ₂	0,66	0,69	0,79
Al ₂ O ₃	12,14	12,69	11,01
Fe ₂ O ₃	5,65	5,91	1,35
Mn ₂ O ₄	0,07	0,07	—
CaO	0,88	0,89	0,68
MgO	1,78	1,86	1,26
K ₂ O	1,86	1,94	2,07
Na ₂ O	0,73	0,76	0,85
P ₂ O ₅	0,17	0,18	—
SO ₃	Sp.	Sp.	—
CO ₂	0,04	—	—
org. Substanz . . .	0,14	—	—
Hydr. H ₂ O	4,13	4,31	—
Feuchtigkeit	3,98	—	0,22
Summe	99,86	100,01	99,86

Wie diese Analysenwerte dartun, kann es sich in dem gelben, bohnerzföhrnden Lehm nicht mehr um eine der Terra rossa ähnliche Bildung handeln, denn es sprechen sowohl der Ausfall der Gesamtzusammensetzung, der Rückstandsanalyse sowie auch des Salzsäureauszuges (vgl. Tabelle S. 192) dagegen.

Schließlich besuchten wir auch die alten Bohnerzgruben in der Umgegend von Fluorn, leider sind sie aber stark verfallen, so daß die

¹⁾ Vergl. Erl. z. Bl. Sulz-Glatt S. 34.

Salzsäureauszug.

	Ursprüngl. Befund	wasser- u. org. Sub- stanz-frei	karbonatfrei	rückstands- frei
	%	%	%	%
HCl-lösl. SiO_2 . . .	0,14	0,15	0,15	1,08
karb.-lösl. SiO_2 . .	(1,05)	(1,10)	(1,10)	
TiO_2	0,01	0,01	0,01	0,07
Al_2O_3	3,04	3,17	3,17	22,87
Fe_2O_3	4,53	4,73	4,73	34,13
Mn_2O_3	0,07	0,07	0,07	0,51
CaO	0,32	0,28	0,28	2,02
MgO	0,74	0,77	0,77	5,56
K_2O	0,15	0,16	0,16	1,15
Na_2O	0,03	0,03	0,03	0,22
P_2O_5	0,17	0,18	0,18	1,30
SO_3	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
CO_2	0,04	CaCO_3 0,09	—	—
Hydr. H_2O	4,13	4,31	4,31	31,10
org. Substanz . . .	0,14	—	—	—
Feuchtigkeit . . .	3,98	—	—	—
Rückstand	82,38	86,04	86,13	—
Summe	99,87	99,99	99,99	100,01

Hoffnung, hier Einblick in den Entstehungsvorgang des Bohnerzes zu erhalten, nicht erfüllt wurde. M. Bräuhäuser läßt sich über diesen folgendermaßen vernehmen und decken sich seine Auffassungen im allgemeinen mit den von uns an sonstigen Orten gemachten Beobachtungen. „Das Bohnerz findet sich im Muschelkalkgebiet des Oberen Neckarlandes teilweise in Felsritzen, Schlotten, kurz, in allen möglichen Klüften der insbesondere in der Nähe der Täler gern klüftig und rissig erscheinenden Felsbänke der Trochitenkalke, Nodosus-Schichten und Trigonodus-Dolomite. Unmöglich können diese Erzkugeln und zusammenliegenden Erz- und Kieselbrocken alle mit dem oft nur spärlich miteingeschwemmten Lehm als dessen Einschlüsse zusammen gehören. Zudem zeigen sie sich meist deutlich zugerundet und abgestoßen, so daß sich ohne weiteres der Eindruck ergibt, daß diese Knollen und Knauern von blankgescheuertem Erz und die Rollstücke und Scherben von Feuerstein aus einst darüber oder in der Nähe lagernden Bohnerzlehm gekommen sein müssen, deren Massen abgespült und verschwunden sind, während ihre harten Konkretionen hier hereingeraten und dann in diesen Taschen des Felsgesteins, in denen sie sich gefangen hatten, erhalten geblieben sind. Dazu kommt noch bestätigend hinzu, daß es namentlich die steilen, heute von jeder oberflächlichen Lehmdecke freien Hügelwellen sind, deren am Gehänge aus dem

Schichtverband weichende Felsbänke solche ererfüllten Spalten zeigen. Anders werden die zu beobachtenden Lagerungsverhältnisse in den flachen Talsenken zwischen den Hügeln. Die Erläuterungen von Blatt Alpirsbach sprechen von ‚Bohnerzlehmen, die teils als rotbraune, erzeiche Ausfüllungsmassen in Klüften und Spalten der Muschelkalkfelsen lagern, teils als schwere Decke aus mehrere Meter tiefem, dunkelfarbigem Lehm die flache Landschaft überziehen‘. Die Erläuterungen von Blatt Schramberg heben diese flachen Muldenlehme besonders hervor: ‚Sowohl durch Mächtigkeit als durch Erreichung ausgezeichnet sind die Lehmmassen, die im Untergrund der flachen Talmulden westlich Waldmössingen, Winzeln und Fluorn liegen‘. Zur Erklärung der Mächtigkeit der in den Fluorn Senken lagernden Verwitterungsmassen darf . . . daran gedacht werden, daß in der sonnenheißen und wahrscheinlich sehr trockenen Zeit der Roterdebildung . . . hier eine Weiterführung staubtrockener Teile der Verwitterungsmassen durch den Wind erfolgte, der sie hiernach im ‚Windschatten‘ zusammenhäufte¹⁾.“ Ferner heißt es an anderer Stelle: „Die Übereinstimmung mit den Bohnerzlagern der Hochalpen und der Bohnerzformation von Kandern legt nahe, auch für Fluorn dieselben Formen der Verwitterung, denselben Verlauf und dieselbe Reihenfolge eigenartiger Vorgänge anzunehmen, die hier wie dort zu der Ausbildung solcher buntfarbiger, vorwiegend roter oder rotbrauner, geflammter, bohnerzföhrer Tone geführt haben, wie sie heute weder am einen noch am anderen der genannten Orte unter dem jetzt herrschenden Klima sich bilden könnten.“²⁾

In seinen Erläuterungen zu Blatt Schramberg äußert er sich im besonderen über die Bohnerzlehme von Fluorn mit nachstehenden Worten: „Sobald der mittlere Muschelkalk im Untergrund ansteht, pflegen braune und rotgelbe bis gelbe, mächtige Lehmmassen die flache Landschaft zu überdecken.“ Sie beginnen zu unterst mit grauen mehr sandigen Lagen, denen gelbe bis gelbbraune zähe Lehme von mehreren Metern Mächtigkeit folgen. Diese stecken meist voll scharfer Feuersteine und Feuersteinsplitter. Wo es zur Bohnerzbildung gekommen ist, sind alle kleinen Steine braun umrandet, teilweise zu richtigen Eisenerzknollen verkrustet. Nebenher finden sich auch reine Erzkongregationen. Nach oben gehen diese Bohnerzlehme, die sich zunächst von Lößlehm durch größere Zähigkeit in feuchtem und vieleckigen, rissigen Bruch, in trockenem Zustand auch petrographisch unterscheiden, unter Verschwinden des Bohnerzes und Ausklingen der lebhaften Farbtöne in entkalkten Lößlehm über und sind karto-

¹⁾ M. Bräuhäuser, l. c., Jhefte d. Ver. f. vaterl. Naturkde, 1916, S. 236 bis 237.

²⁾ Ebenda, S. 239.

graphisch von diesem ungemein schwer zu unterscheiden. Die Bohnererzlehme sind alte, tiefgründige Verwitterungsmassen des mittleren, selten des oberen Muschelkalks, da der letztere nur an ganz wenigen Stellen mit in Betracht kommt. . . Den direkten Beweis für die vorstehende Herleitung der Bohnererzlehme aus dem anstehenden mm-Gebirge der Nähe lieferten außer den Lehmgruben zahlreiche, im Verlauf der Aufnahme ausgeführte Grabungen und die Schlammanalysen.“¹⁾ Desgleichen sprechen sich K. Schnarrenberger sowie auch F. Schalch über die betreffenden Vorkommnisse von Kandern und des Gebietes von Schaffhausen aus, indem besonders letzterer ausführt: „Intensiv ockergelbe bis dunkel-schmutziggelbe, selten rein weiße, walkerdeartige, öfters aber rot, violett, braun und hellgrau gefärbte, eisenschüssige, kalkfreie oder sehr kalkarme, meist aber sandige, zuweilen recht fette Tone bilden den Hauptbestand.“²⁾

Die von uns von Fluorn untersuchte Probe stellt einen gelbbraunen Lehm dar. Ihr Anteil unter 2 mm Korngröße ist zerreiblich und einzelne Partien sind bolusartig ausgebildet, Bohnerz führt er nur in geringer Menge, etwa $\frac{1}{2}\%$ der Masse. Dasselbe ist weich und unregelmäßig geformt, doch kommen auch runde Körner vor. Im Anteil über 2 mm finden sich z. T. wenig vererzte Kalkbruchstückchen, ausgewitterte Crinoidenstielglieder, sodann durch sekundäre Kalkausscheidung verbackener Lehm und auch noch wenige Bruchstücke von mergelartigem Kalk. Das unterlagernde Gestein ist Trochitenkalk, dieser ist ein mittelkörniges, kristallines bis dichtes, z. T. spätig ausgebildetes Kalkgestein mit Encrinusgliedern, das oberflächlich mit einer dünnen, gelblichen Verwitterungshaut überzogen ist.

Die analytische Untersuchung ergab für beide Proben nachstehende Zusammensetzung (siehe S. 195 u. 196):

Schon auf Grund des Ausfalles der „ursprünglichen“ Gesamtzusammensetzung und ihrer Umrechnungen kommt dem gelbbraunen Lehm zwar immerhin eine roterdeartige Beschaffenheit zu, aber doch nicht von dem Grade des dunkelrotbraun gefärbten Lehm des Vorkommens südlich von Obersulz, dennoch schon recht ähnlich der Terra rossa von der „Buchhalde“ an der Straße von Nagold über Mindersbach nach Wenden, am wenigsten aber der Roterde am „Apotheker“ an der Straße Mötzingen nach Nagold gleichend, und andererseits auch nicht dem gelben Lehm des Aufschlusses an der „Ziegelhütte“ bei Dürrenmettstetten weder annähernd gleichend, noch ähnelnd. Er ist daher als eine Lehmbildung anzusprechen, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach den Roterden nicht sehr

¹⁾ M. Bräuhäuser, Erl. zum Bl. Schramberg, Nr. 129, 1909, S. 76.

²⁾ F. Schalch, Erl. zum Bl. Wiechs-Schaffhausen, S. 81.

Gesamtanalysen.

	1	2	1	2
	Trochiten- kalkstein	Gelbbrauner Lehm	befreit von Wasser, org. Substanz und Karbonat	
	%	%	%	%
SiO ₂	1,16	53,90	64,11	57,20
TiO ₂	0,01	0,64	0,28	0,68
Al ₂ O ₃	0,14	17,67	7,61	18,75
Fe ₂ O ₃	0,21	8,13	11,61	8,62
Mn ₃ O ₄	—	0,07	—	0,07
CaO	54,30	2,21	1,39	1,26
MgO	0,56	2,69	0,28	2,85
K ₂ O	0,10	4,10	5,56	4,35
Na ₂ O	0,03	0,27	1,83	0,29
P ₂ O ₅	0,08	0,40	4,61	0,43
SO ₃	0,01	0,01	0,33	0,01
CO ₂	43,26	0,80	—	—
org. Substanz . . .	—	0,17	—	—
Hydr. H ₂ O	0,04	5,16	2,39	5,47
Feuchtigkeit . . .	0,03	4,15	—	—
Summe	99,93	99,93	100,00	99,98

Salzsäureunlöslicher Rückstand.

	1	2
	%	%
SiO ₂	83,98	71,39
TiO ₂	0,23	0,82
Al ₂ O ₃	7,70	17,69
Fe ₂ O ₃	0,48	2,34
CaO	1,88	0,45
MgO	0,35	1,97
K ₂ O	4,40	4,78
Na ₂ O	0,14	0,30
Feuchtigkeit . . .	0,88	0,23
Summe	100,04	99,97

entfernt steht, was aber nicht dazu berechtigt, sie ohne weiteres als eine solche aufzufassen.

Damit können wir nun zur Auswertung des bisher gewonnenen Untersuchungsmaterials der Verwitterungsprodukte auf Muschelkalk in unserem Gebiet schreiten. Wie aus den bisherigen Erörterungen hervorgeht, liegen alle von uns untersuchten Aufschlüsse im Gebiet des oberen Muschelkalkes, und zwar auf dem obersten Muschelkalk, dem Trigonodusdolomit mo, derjenige am „Apotheker“, auf den Nodosus-

Salzsäureauszüge.

	1	2			
		Ur- sprüng- licher Befund	H ₂ O- u. org. Substanz-frei	kar- bonat- frei	rück- stands- frei
	%	%	%	%	%
HCl-lösl. SiO ₂	0,049	0,15	0,16	0,16	0,79
karb.-lösl. SiO ₂		(1,74)	(1,81)	(1,85)	
TiO ₂	0,002	0,02	0,02	0,02	0,10
Al ₂ O ₃	0,036	4,35	4,53	4,62	22,77
Fe ₂ O ₃	0,203	6,37	6,63	6,76	33,32
Mn ₃ O ₄	—	0,07	0,07	0,07	0,34
CaO	54,300	1,87	0,88	0,90	4,44
MgO	0,560	1,21	1,26	1,28	6,31
K ₂ O	0,042	0,50	0,52	0,53	2,61
Na ₂ O	0,031	0,04	0,04	0,04	0,20
P ₂ O ₅	0,083	0,40	0,42	0,43	2,12
SO ₃	0,006	0,01	0,01	0,01	0,05
CO ₂	43,260	0,80	CaCO ₃ 1,89	—	—
Hydr. H ₂ O	0,031	5,16	5,37	5,47	26,96
org. Substanz	—	0,17	—	—	—
Feuchtigkeit	0,030	4,15	—	—	—
Rückstand	1,316	75,10	78,19	79,70	—
Summe	99,949	100,37	99,99	99,99	100,01

schichten mo₂ die Vorkommen von Obersulz und von der „Ziegelhütte“ bei Dürrenmettstetten und auf dem Trochitenkalk mo₁ das Profil von der „Buchhalde“ bei Pfrondorf und das Vorkommen von Fluorn.

Um zunächst die chemische Beschaffenheit der uns von obigen Fundorten zur Verfügung stehenden Kalkgesteine vergleichsweise zu beurteilen, seien an dieser Stelle die Gesteinsanalysen derselben nebeneinander gestellt, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß von dem Fundort der „Ziegelhütte“ kein frisches Gestein erreichbar gewesen ist, also nicht aufgeführt werden kann (siehe Tabelle S. 197 oben).

Wie man ohne weiteres erkennt, handelt es sich in sämtlichen vier Gesteinen um Kalksteine von ziemlicher Reinheit und auch Gleichartigkeit in ihrer Zusammensetzung, denn ein nur verhältnismäßig geringer Teil von nichtkarbonatischen Anteilen ist in ihnen vorhanden, der zur Hauptsache von Kieselsäure gestellt wird. Nur das Gestein des obersten Muschelkalkes mo₈ weicht durch seinen doppelt bis dreifach höheren Gehalt an MgO etwas von den drei anderen Proben ab. Diese etwas größere Anteilnahme von MgO ist in der Form von MgCO₃

	mo ₀ („Apo- theke“) %	mo ₂ (Obersulz) %	mo ₁ („Buch- halde“) %	mo ₁ (Fluorn) %
SiO ₂	2,18	2,97	1,77	1,16
TiO ₂	0,02	0,02	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	0,46	0,42	0,41	0,14
Fe ₂ O ₃	0,30	0,26	0,23	0,21
CaO	52,28	53,27	53,34	54,30
MgO	1,75	0,56	0,80	0,56
K ₂ O	0,13	0,18	0,20	0,10
Na ₂ O	0,03	0,03	0,04	0,03
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,04	0,08
SO ₃	Sp.	0,01	0,01	0,01
CO ₂	42,67	42,39	42,65	43,26
Hydr. H ₂ O	0,12	0,12	0,14	0,04
Feuchtigkeit . . .	0,06	—	0,04	0,03
Summe	100,05	100,28	99,68	99,93

vorhanden. Sie berechtigt jedoch eigentlich noch nicht dazu, in diesem Gestein einen Dolomit oder dolomitischen Kalk zu sehen, so daß auch von dem obersten Muschelkalk in der amtlichen Literatur mit Vorsicht als von einer „dolomitischen Region“ gesprochen wird. Dennoch läßt sich die allzu geringe Berechtigung hierfür schon ohne weiteres durch die Wiedergabe der Analysenbefunde nach Umrechnung bzw. Berücksichtigung der vorhandenen Karbonatmengen dartun, wie untenstehende Tabelle zeigt.

	(„Apo- theke“) %	(Obersulz) %	(„Buch- halde“) %	(Fluorn) %
SiO ₂	2,180	2,971	1,771	1,154
TiO ₂	0,014	0,016	0,012	0,005
Al ₂ O ₃	0,454	0,419	0,410	0,137
Fe ₂ O ₃	0,296	0,257	0,227	0,209
CaO	0,018	0,033	0,009	0,025
MgO	0,113	0,023	0,025	0,005
K ₂ O	0,128	0,180	0,198	0,100
Na ₂ O	0,033	0,030	0,039	0,033
P ₂ O ₅	0,050	0,051	0,043	0,083
SO ₃	0,003	0,009	0,006	0,006
Hydr. H ₂ O	0,119	0,118	0,139	0,043
Feuchtigkeit . . .	0,060	—	0,040	0,030
CaCO ₃	93,300	95,070	95,170	96,900
MgCO ₃	3,160	1,170	1,610	1,170
Summe	99,928	100,347	99,799	99,890

Auch die Salzsäureauszüge zeigen für den Aufbau der vier Gesteine eine gleichfalls ziemliche Einheitlichkeit, die nur wenig durch die etwas höhere Anteilnahme der Magnesia in dem einen besagten Fall gestört wird.

	(„Apo- theker“)	(Obersulz)	(„Buch- halde“)	(Fluorn)
	%	%	%	%
SiO ₂	0,078	0,073	0,075	0,049
TiO ₂	0,002	0,002	0,003	0,002
Al ₂ O ₃	0,097	0,023	0,038	0,036
Fe ₂ O ₃	0,270	0,288	0,200	0,203
CaO	52,280	53,270	53,330	54,300
MgO	1,600	0,560	0,770	0,560
K ₂ O	0,050	0,050	0,049	0,042
Na ₂ O	0,029	0,025	0,034	0,031
P ₂ O ₅	0,050	0,051	0,043	0,083
SO ₃	0,003	0,009	0,006	0,006
Hydr. H ₂ O	0,095	0,092	0,127	0,031
Feuchtigkeit. . . .	0,060	—	0,040	0,030
CO ₂	42,670	42,390	42,650	43,260
Rückstand	2,644	3,546	2,394	1,316
Summe	99,928	100,329	99,669	99,949

Wie fällt nun demgegenüber die Zusammensetzung der auf diesen Gesteinen ausgebildeten Spaltenausfüllungsmassen aus? Zur Beantwortung dieser Frage wählen wir am besten die diesbezüglichen Analysenwerte der auf wasser-, organische Substanz- und karbonatfrei umgerechneten Substanz aus:

	moδ („Apotheker“)		mo ₂ (Obersulz)	mo ₁ („Buch- halde“)	mo ₁ (Fluorn)
	%	%	%	%	%
SiO ₂	49,06	49,18	52,91	54,84	57,20
TiO ₂	0,56	0,57	0,64	0,68	0,68
Al ₂ O ₃	21,18	21,53	23,09	19,58	18,75
Fe ₂ O ₃	14,49	13,88	8,80	9,32	8,62
Mn ₂ O ₄	0,07	0,15	0,07	0,11	0,07
CaO	0,32	0,32	1,44	1,58	1,26
MgO	4,02	3,92	2,53	1,98	2,85
K ₂ O	2,01	2,38	2,50	2,34	4,35
Na ₂ O	0,30	0,31	0,36	0,37	0,29
P ₂ O ₅	0,24	0,41	0,20	0,18	0,43
SO ₃	Sp.	0,01	—	Sp.	0,01
Hydr. H ₂ O	7,75	7,34	7,46	9,01	5,47
Summe.	100,00	100,00	100,00	99,99	99,98

Es zeigt dieser Vergleich, daß eine engere Beziehung zwischen der stofflichen Zusammensetzung der sich im großen und ganzen sehr

ähnlichen Kalkgesteine und der auf denselben zur Ausbildung gelangten Spaltenausfüllungsmassen nicht herausgelesen werden kann, wobei allerdings nicht verkannt werden darf, daß auch die Unterschiede in der stofflichen Beschaffenheit der letzteren im ganzen gesehen nicht allzu stark ins Gewicht fallen, worauf schon bei anderer Gelegenheit die Aufmerksamkeit gelenkt wurde¹⁾. Zieht man ferner die Zusammensetzung des karbonat- und wasserfrei berechneten Anteils der Kalke und ebenso die des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes der Kalkgesteine in Rücksicht, so lassen sich gleichermaßen in beiden Fällen, wenn auch, wie ersichtlich, z. T. erhebliche Unterschiede in der Beschaffenheit vorhanden sind, dennoch keine Rückschlüsse in besagter Richtung ziehen.

Karbonat- und wasserfrei berechnete Gesteinsanalysen.

	moδ („Apo- theker“) %	mo ₂ (Obersulz) %	mo ₁ („Buch- halde“) %	mo ₁ (Fluorn) %
SiO ₂	63,97	72,34	61,51	64,11
TiO ₂	0,41	0,39	0,42	0,28
Al ₂ O ₃	13,32	10,20	14,24	7,61
Fe ₂ O ₃	8,69	6,26	7,88	11,61
CaO	0,53	0,80	0,31	1,39
MgO	3,32	0,56	0,87	0,28
K ₂ O	3,76	4,38	6,88	5,56
Na ₂ O	0,97	0,73	1,35	1,83
P ₂ O ₅	1,47	1,24	1,49	4,61
SO ₃	0,09	0,22	0,21	0,33
H ₂ O ⁺	3,48	2,87	4,83	2,39
Zusammen	100,01	99,99	99,99	100,00

In Salzsäure unlösliche Rückstände des Kalkgesteins.

	moδ („Apo- theker“) %	mo ₂ (Obersulz) %	mo ₁ („Buch- halde“) %	mo ₁ (Fluorn) %
SiO ₂	79,66	81,89	73,52	83,98
TiO ₂	0,45	0,40	0,38	0,23
Al ₂ O ₃	13,51	11,20	16,14	7,70
Fe ₂ O ₃	0,98	0,55	1,18	0,48
CaO	0,70	0,94	0,41	1,88
MgO	0,87	0,65	1,07	0,35
K ₂ O	2,97	3,68	6,48	4,40
Na ₂ O	0,14	0,14	0,22	0,14
Glühverlust	0,90	0,74	0,50	0,88
Summe	100,18	100,19	99,90	100,04

¹⁾ Vgl. S. 197.

Alles dieses besagt doch wohl, daß ein Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung der als Roterde geltenden Bodenbildungen und der Kalkgesteinsbeschaffenheit, selbst dann nicht besteht, wenn, wie im vorliegenden Fall, Kalkgesteine verschiedener Formationsabteilungen als Ausgangsmaterial in Frage kommen. Mithin spielt der Kalk als solcher, nämlich als chemisches Agens, nur die allein ausschlaggebende Rolle bei dem Bildungsvorgang der Roterde.

Auch ein Vergleich der vorliegenden Roterdebildungen auf Muschelkalk mit denjenigen auf Zechsteinkalk Mitteldeutschlands und auf devonischem Massenkalk Westdeutschlands läßt erkennen, daß keine besonders großen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Roterdebildungen innerhalb dieser verschiedenen Gebiete und Formationen auftreten, sofern man nicht die Extremfälle herausnimmt und gegenüberstellt. Zur Beurteilung dessen mögen an dieser Stelle die schon früher von uns mitgeteilten diesbezüglichen Analysebefunde nochmals wiedergegeben sein¹⁾. (S. Tabelle S. 201.)

Nach den bereits mehrfach zitierten Hinweisen der kartierenden württembergischen Geologen scheint sich hinsichtlich der Entstehung der Roterdebildungen auf Muschelkalk ihres Arbeitsgebietes die Auffassung gebildet zu haben, in den rotgefärbten Verwitterungsdecken und Spaltenausfüllungen unmittelbar eluviale Bildungen zu erblicken, d. h. normale Kalkverwitterungsböden. Jedenfalls macht sich ganz besonders diese Ansicht hinsichtlich des „kräftig rostbraun“, „rostrot“ und „tiefrot“ gefärbten Verwitterungsbodens des Trigonodusdolomits geltend, dessen Farbe geradezu als ein markantes Merkmal für die aus ihm hervorgehenden Böden angesprochen wird²⁾. Wir glauben uns nicht einer solchen Ansicht vollinhaltlich anschließen zu können, sondern halten die rote Farbe für ein erst später, also nicht primär erworbenes Merkmal, insofern wir der Meinung zuneigen, in allen diesen rotgefärbten Böden Illuvialhorizonte erkennen zu dürfen, wofür im Verfolg unserer Darlegungen verschiedentlich Nachweise erbracht worden sind, die solches in der Lage sind, zu erhärten. Auch teilen wir nicht die Auffassung, daß die roten Illuvialhorizonte, die nicht nur auf dem Trigonodusdolomit, sondern ebenso gut auch auf den übrigen Kalksteinen des oberen Muschelkalkes auftreten, stets durch einen späteren Klimawechsel eine braune Färbung angenommen haben. Wir stehen vielmehr, wie gesagt, auf dem Standpunkt einer Ausbildung der Roterde als Illuvialhorizontbildung, die ihr Material z. T., vielleicht sogar zur Hauptsache, aus den überlagernden Schichten bzw.

¹⁾ Vgl. unsere Ausführungen Chem. d. Erde 14, 279 u. 309 (1942). Die ersten 3 Analysen sind humusfrei umgerechnet.

²⁾ Vgl. S. 170, 171, 173 und 183 unserer vorliegenden Ausführungen.

Roterden auf und im Zechsteinkalk			Roterden auf und im devonischen Massenkalk						
	Spaltenausfüllung an der Kammerbach- straße		Spalten- ausfüllung am Esels- grund bei Kammerbach	Brilon, rot bis rotbraune Vererzungs- zone	Katzenelnbogen				Oberneisen, sattrot ge- färbter Lehm
	%	%			rot bis rotbrauner Lehm	sattrot gefärbter Lehm	rötlich gelber Lehm	gelbbrauner Lehm	
		%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂ . .	54,06	55,11	50,86	44,07	53,80	44,38	41,06	53,81	47,23
TiO ₂ . .	0,48	0,51	0,50	0,76	0,86	0,97	0,91	0,94	1,03
Al ₂ O ₃ . .	18,85	19,11	24,38	21,70	18,93	21,92	29,39	20,94	18,88
Fe ₂ O ₃ . .	11,24	11,29	12,30	13,65	11,29	19,33	11,73	10,88	22,24
Mn ₂ O ₄ . .	—	—	—	0,52	0,48	0,80	0,09	0,09	0,07
CaO . .	0,37	0,20	0,85	1,55	1,96	1,59	1,61	1,19	1,15
MgO . .	1,66	1,38	2,34	1,92	1,41	0,78	0,59	0,78	0,54
K ₂ O . .	2,34	2,64	1,67	5,27	2,35	0,93	1,25	1,18	0,74
Na ₂ O . .	1,59	1,95	0,62	0,34	0,10	0,15	0,39	0,24	0,05
P ₂ O ₅ . .	0,14	0,22	Sp.	1,46	0,88	0,23	0,93	0,88	Sp.
SO ₃ . .	0,10	0,04	0,04	1,43	0,27	0,10	0,10	0,15	0,14
H ₂ O ⁺ . .	9,17	7,54	6,43	7,31	7,66	8,83	11,94	8,90	7,94
Summe .	100,00	99,99	99,99	99,98	99,99	100,01	99,99	99,98	100,01

Bodenbildungen erhalten hat, sofern nicht noch andere Momente in Frage kommen sollten, die eine andere Möglichkeit bieten könnten.

Für das Auftreten aber auch von gelb gefärbtem Lehm andersartiger Zusammensetzung auf und im Muschelkalk spricht u. a. der von uns untersuchte Aufschluß an der „Ziegelhütte“ bei Dürrenmettstetten, so daß auch hier, ebenso wie bei anderen Kalkgesteinsausfüllungsmassen, so z. B. solchen der schwäbischen und fränkischen Alb, worauf noch zurückzukommen sein wird, nicht auf eine einheitliche Natur derselben erkannt werden kann, wodurch sich die Beantwortung der Frage nach den Entstehungsbedingungen nicht gerade einfacher gestaltet. Trotzdem hat M. Bräuhäuser versucht, eine ziemlich generelle Erklärungsweise durchzuführen, wie sie bekanntlich in seiner schon mehrfach zitierten Hauptabhandlung niedergelegt worden ist, die auch der Bohnerzbildung gerecht zu werden versucht, indem die seinerzeit zur Verfügung stehenden Kenntnisse bodenkundlicher sowie chemisch-geologischer Art von ihm herangezogen wurden, so daß ein in sich recht abgeschlossenes Bild entstanden ist. Dennoch scheinen uns die Verhältnisse etwas verwickelter zu sein, worauf wir aber erst in unseren Erörterungen über die Roterdebildungen in und auf dem Jurakalk Schwabens einzugehen haben werden. Immerhin möchten wir nochmals die Aufmerksamkeit auf die unterschiedlichen Verhältnisse lenken, die uns bei der Betrachtung der stofflichen Zusammensetzung der die Roterdebildungen überlagernden Schichten oder Böden im Gegensatz zu jenen entgegentreten, da sie u. E. in der Lage sein dürften, zur weiteren Klärung der Sachlage beizutragen. Sie bringen u. E. deutlich genug zum Ausdruck, daß diese Roterden und ihre Überdeckungsschichten als zwei substantiell voneinander gekennzeichnete Materialien anzusehen sind. Wir verweisen zu diesem Zweck nochmals auf unsere diesbezüglichen Ausführungen hinsichtlich der Auswertung der Analysenbefunde des Profils vom „Apotheker“ bei Nagold und der „Buchhalde“ bei Pfrondorf. Wie dort die beiden Profilbefunde dartun, bringen die wasser-, organische Substanz- und karbonatfrei berechneten Zahlenwerte zum Ausdruck, daß die der Roterde auflagernden Eluvialhorizonte nicht nur von der Roterdezusammensetzung erheblich abweichen, sondern andererseits ebensowohl mit dem in gleicher Art umgerechneten Anteil des Ausgangsgesteins übereinstimmen¹⁾, so daß hiernach kein Zweifel aufkommen kann, daß sich entweder die Roterde als eine Illuvialhorizontbildung oder als ein metasomatischer Verdrängungshorizont darstellt. Im großen und ganzen laufen aber beide Vorstellungen auf ein und denselben Vorgang hinaus, insofern auch im letzteren Fall eine Zufuhr von Stoffen aus den oberen Bodenschichten stattgefunden haben muß.

¹⁾ Vgl. S. 179 und 184 vorliegender Abhandlung.

Die Roterdebildung setzt sich infolgedessen aus zwei Teilvorgängen, nämlich der Verwitterung des Kalkgesteins und der Zufuhr von Stoffen zu diesem Verwitterungsprodukt zusammen. Nun muß aber andererseits die Eluvialbildung als unmittelbares Verwitterungsprodukt des Kalksteins gelten, wie dieses ja die gleiche Zusammensetzung des Eluvialhorizontes und gewisser Anteile des Kalkgesteins lehrt, denn die vorhandenen geringen Abweichungen erklären sich selbstverständlicherweise aus dem vorgeschrittenen Verwitterungszustand des nicht-karbonatischen Kalkgesteinanteils in den Roterdebildungen, so daß der Illuvial- oder metasomatische Verdrängungshorizont als eine sekundäre Bildung innerhalb des ganzen Bodenprofils aufzufassen ist, die ihrem Alter nach jünger denn der Eluvialhorizont sein muß. Dieser Tatbestand würde aber darauf schließen lassen, daß die Roterdebildung im vorliegenden Gebiet recht jungen Alters sein dürfte, da die rezente Natur des Eluvialhorizontes wohl nicht in Zweifel gestellt werden kann. Wir befinden uns damit im Gegensatz zu der bisher von M. Bräuhäuser u. a. geäußerten Ansicht, glauben aber dadurch eine weitere Stütze für die von dem einen¹⁾ von uns schon einmal vertretene Auffassung von dem z. T. jugendlichen Alter der Roterden im Gebiet des Fränkischen Jura gewonnen zu haben. Um den weiteren Erörterungen und Feststellungen hinsichtlich der Bildungsweise der Roterden auf und im Jurakalk der Schwäbischen Alb nicht vorzugreifen, wollen wir damit unsere diesbezüglichen Ausführungen an dieser Stelle abbrechen, um sie erst später wieder aufzunehmen.

Somit kommen wir zu dem vorläufigen Ergebnis, daß auf dem Muschelkalk des vorliegend behandelten Gebietes als Spaltenausfüllungsmassen sowohl Terra rossa-Bildungen als auch eingeschwemmte Lehme aufzutreten vermögen. Zu diesen letzteren gehören auch die „eigentlichen“ Böhnerlehme. Diese letzteren sind nach M. Bräuhäuser als alte tiefgründige Verwitterungsmassen des mittleren, selten des oberen Muschelkalkes aufzufassen. Die Roterden stellen sich dagegen als Illuvialhorizonte der überlagernden humosen Bodenbildungen dar und beanspruchen für ihr Zustandekommen, da letztere als rezente Bildungen zu gelten haben, ein junges Alter. Sie sind jedoch nicht immer auf Grund ihrer chemischen Zusammensetzung von den Lehm- bzw. Tonausfüllungsmassen zu trennen, da diese aus naheliegenden Gründen in dieser Beziehung der Zusammensetzung der Roterden sehr nahe kommen, ganz abgesehen davon, daß auch mechanisch zugeführte Verunreinigungen erhebliche Verschiedenheiten in ihrer Gesamtzusammensetzung hervorrufen können. Dennoch unterscheiden sich beide Umwandlungsprodukte aber zumeist durch ihre sonstige,

¹⁾ Vgl. E. Blanck und E. v. Oldershausen, l. c. Chem. d. Erde 10, 66 (1936).

d. h. äußere Beschaffenheit, insofern die Spaltenausfüllungsmassen ersterer Art eine lehmig-tonige bzw. bolusartige Beschaffenheit aufweisen.

In der Abhandlung von K. Weiger¹⁾ über die Spaltenausfüllungen des weißen Juras liegt eine große Fülle von Beobachtungsmaterial vor, dessen Kenntnis für unsere eigenen Mitteilungen vorausgesetzt werden muß, so daß ein Eingehen auf seine Feststellungen notwendig erscheint. Dieselben erstrecken sich auf die Tübinger, Uracher und Kirchheimer Alb, d. h. zwar nur auf den mittleren, nördlichen Teil des sich von SW nach NO hinziehenden Weißjurazuges der Schwäbischen Alb, wenngleich sie auch wohl für die diesbezüglichen Verhältnisse im Gebiet des ganzen Weißjuras allgemein Anwendung finden dürfen. „Für die schwäbische Geologie“, so hebt er zunächst hervor, „repräsentieren die Spaltenausfüllungen großen Wert, insofern als uns hier die letzten Residua längst von der Oberfläche verschwundener Schichten in Gestalt von Lehmen erhalten sind. Leider sind diese Reste, die den denudierenden Agentien der Atmosphäre Widerstand geleistet hatten, nur selten rein erhalten, und lassen dann direkt auf die Zusammensetzung ihres Muttergesteins schließen; vielmehr sind diese Lösungsrückstände oft durch mehrfache Umlagerung und Bearbeitung durch fließendes Wasser entsteht und mit anderen oft ganz fremdartigen Bestandteilen vermengt²⁾.“ Sie spiegeln die geologischen Vorgänge auf der Albhochfläche „während der Zeit zwischen Jura und Diluvium“ wider. Da in ihnen aber „fast keine Reste von Lebewesen gefunden werden konnten“, so bereitet die Altersstellung derselben besondere Schwierigkeiten³⁾. Mit Betonung wird des weiteren darauf hingewiesen, daß die Füllmassen „gar mannigfaltiger Natur“ sein können, so Bohnerzfreie oder nur wenig Bohnerz führende Lehme, echte Bohnerzablagerungen, feine Tone mit Braunkohlenspiuren und fremdartige Quarzsande⁴⁾. In den braunen Lehmen sieht er einheimisches, d. h. dem Jura entstammendes Material, und erkennt die sog. Terra rossa in den oberen Jurakalken Südfrankreichs und der Schweiz als einen „analog hierzu eingeschwemmten Lösungsrückstand“⁵⁾. Auch treten noch lokal zu dem verwitterten Jura material vulkanisches Material und fremdartige Quarzsande hinzu.

Des näheren werden die Spaltenausfüllungen ohne Bohnerz in folgender Weise gekennzeichnet: „Eine weit verbreitete Fazies der

¹⁾ K. Weiger, Beiträge zur Kenntnis der Spaltenausfüllungen im Weißen Jura auf der Tübinger, Uracher und Kirchheimer Alb. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. i. Württ. 64, 188 (1908).

²⁾ K. Weiger, l. c., S. 188.

³⁾ Ebenda, S. 189.

⁴⁾ Ebenda, S. 190.

⁵⁾ Ebenda, S. 192.

Spaltenausfüllungen sind die fetten gelbbraun bis dunkelbraun, manchmal auch blaugrün bis gelbgrün gefärbten plastischen Tone ohne Beigabe von einzelнем Bohnerz. Dieselben können entweder einfach sein, d. h. aus einer gleichförmigen und gleichgefärbten Masse bestehen, oder aber aus mehrerlei verschieden gefärbten und ungleich harten Lehmarten sich zusammensetzen. Einfache Spaltenlehme finden sich überall auf der Alb, fast in jedem Steinbruch kann man in keilförmig senkrecht oder schräg niedersetzenden Spalten dunkelbraune bis ockergelbe Lehme antreffen, die beim Trocknen in größere oder kleinere eckige prismatische Stücke zerfallen. Vermöge ihrer feinen gleichartigen Beschaffenheit läßt sich keine Schichtung des Materials konstatieren, meist jedoch ist der Lehm nach unten dunkler gefärbt. Man kann unterscheiden zwischen 1. gewöhnlichen braunen Spaltenlehmern, 2. bolusartigen Tönen. Der gewöhnliche hell oder dunkel gelbbraune fette Lehm ist in feuchtem Zustand plastisch und zeigt auf der Bruchfläche prismatische Absonderungen. In trockenem Zustande klebt er stark an der Zunge . . . Zuweilen hat sich der sonst vollständig kalkfreie Lehm sekundär verhärtet durch Infiltration von Calciumkarbonat aus kalkigem Wasser. Es bilden sich so ziemlich harte Gesteine, die z. T. noch durch eine weitere Eisenzufuhr in kugeligen und ellipsoidischen Wellen sich ausbreitende Abscheidungen von Brauneisenstein zeigen¹⁾.“ Desgleichen kann auch eine Ausscheidung des Kalkes in Gestalt von Lößkindeln erfolgen. Eine Wiedergabe aber der von ihm daran anschließend mitgeteilten Analysenbefunde von braun und rotbraun gefärbten Spaltenlehmern kann unterbleiben, da es sich in allen diesbezüglichen Angaben um keine vollständigen Analysen handelt, ja nicht einmal eine Trennung von Al_2O_3 und Fe_2O_3 durchgeführt worden ist, sondern höchstens der Fe_2O_3 -Gehalt neben „Ton“ oder „Unlöslichem“ zur Wiedergabe kommt. Seinen Darstellungen entsprechend werden die einfachen Spaltenlehme als reiner Weißjurauflösungsrückstand angesprochen, und zwar ein Verwitterungsprodukt darstellend, das „vor seiner definitiven Ablagerung durch einen natürlichen Schlämmprozeß gereinigt wurde“²⁾. Da alle derartigen Spaltenausfüllungen nach oben in gerader Linie mit dem anstehenden Gestein abschneiden und darüber gleichmäßig eine anders gefärbte Decke von Lehm mit Weißjurakies lagert, so wird die Bildung der Lehme als schon vor dem Diluvium, d. h. mindestens im Pliozän, erfolgend angenommen³⁾.

Als bolusartige Tone werden verschiedene, äußerst feine, stark an der Zunge klebende, weiß, ockergelb oder tiefrot gefärbte Erden

¹⁾ K. Weiger, l. c., S. 195.

²⁾ Ebenda, S. 196.

³⁾ Ebenda, S. 197.

bezeichnet, die in den Klüften des oberen Weißjura auftreten. Auch der weiße Bolus, die Walkerde, gehört hierher. Nach K. Weiger ist die Annahme berechtigt, in diesen Bolustonen Auslaugungs- und Aufschlammungsprodukte mergeliger Ablagerungen zu erblicken, die in den feinsten Spalten eine Filtration erfahren haben. Der Bolus findet sich daher nach ihm „nie in senkrechten, keilförmigen Spalten, sondern immer in horizontalen Klüften und meist sehr tief im Gestein“¹⁾. Diese Tone sollen ursprünglich meist farblos gewesen sein und durch sekundäre Eisenlösungen ihre gelbe und rote Färbung erhalten haben. Ihr Alter ist gleichfalls ein tertiäres. Schließlich treten noch zusammengesetzte Spaltenlehme häufig auf. Hier liegen in einer „Grundmasse“ von gewöhnlichem Spaltenlehm eckige, dunkler gefärbte, härtere bolusartige „Einsprenglinge“ von oft feiner Schichtung, äußerlich überzogen von einer dünnen Manganschicht. Sie sollen ebenfalls tertiären Alters sein²⁾.

Von diesen unterscheidet sich scharf die Ausbildung der Spaltenausfüllungen mit eingeschwemmtem Bohnerz. Ihre Beschaffenheit ist ungleichmäßiger und gröber. Beim Austrocknen zerfallen diese Tone nicht in eckige, harte Stücke, sondern der rotbraun gefärbte Letten gibt einen Grus oder feste, zusammengeballte Brocken. Ihr Gehalt an CaCO_3 bewegt sich zwischen 1 und 5 %, die eingebetteten Bohnerzkörner zeigen sich meist abgerollt und haben einen Durchmesser von 1—10 mm. Weiße, mehliges Kieselknollen bis zu Faustgröße, z. T. mit einem schwarzen Manganüberzug, sowie ziemlich abgerollte oder kantengerundete Weißjuragerölle mit weißer, mehliges Oberfläche sind gleichfalls vorhanden³⁾. Besonders nach oben hin treten vielfach Konglomeratbildungen von kalkreichem Lehm und Bohnerz sowie Kieselknollen auf. Die Lagerstätte stellt zumeist eine trichter- und schlauchförmige Einsenkung in den massigen δ - und ε -Felsen dar. Alles deutet auf mehrfache Ein- und Verschwemmung durch Wasser hin. „Manchmal setzt die Bohnerzbildung in diesen Letten nochmals ein, wohl infolge einer weiteren Eisenzufuhr. Ferner findet man hier nicht die scharfe Grenze gegen die Bodenüberdeckung, vielmehr gehen die Spaltenlehme ganz unmerklich nach oben in humosen Lehm über, der auch meist die Bodenüberdeckung bildet. Man hat es hier wohl mit einer diluvialen Spaltenausfüllung zu tun. Als Spaltenausfüllungen diluvialen Alters sind auch die Lehme zu betrachten, welche reichlich W.J.-Kies führen, oder durch Beimengung von Dolomitsand ein löbartiges Aussehen bekommen haben. Vielfach findet man noch oberflächlich manganisierte Kiesel- und Feuersteinknollen oder löbkindartige Kalkkonkretionen darunter. In sämtlichen

¹⁾ K. Weiger, l. c., S. 200. ²⁾ Ebenda, S. 201. ³⁾ Ebenda, S. 202.

Fällen habe ich beobachtet, daß diese Füllmassen nicht wie die oben angeführten Lehme mit dem Anstehenden zusammen gegenüber dem Decklehm eine scharfe Grenze bilden, vielmehr haben dieselben meist die gleiche Zusammensetzung, wie die diluviale Decke, die meist ganz unmerklich in die Spaltenfüllmasse übergeht¹⁾.“

Ganz besonderes Interesse verdienen nach ihm die Spaltenlehme mit beginnender Bohnerzbildung, „bei denen sich Anfänge konzentrisch schaliger Kugelkonkretionen zeigen“, die eben als beginnende Bohnerzbildung anzusehen sind. Die Bohnerzkugeln sind nur klein, sie haben einen Durchmesser von 1—3 mm²⁾. Wenn es nun auch, wie schon mehrfach angedeutet, nicht im Rahmen unserer Erörterungen liegt, auf die Bohnerzbildung einzugehen, so sei doch wenigstens mit den eigenen Worten K. Weigers ganz kurz auf seine Auffassung von diesem Vorgang hingewiesen: „Die Bohnerze bilden sich wohl schon seit Ende der Jurazeit fortwährend in den eisenhaltigen Verwitterungslehmen, indem sich um irgendeinen festen Körper, etwa ein Sandkorn, tonige konzentrisch-schalige Aggregate anlagern, welche durch weiteren Eisenzuschuß aus Lösungen sich zu Bohnerz verhärteten. Die Hauptfaktoren der Bohnerzbildung scheinen demnach zu sein: 1. Eisengehalt nicht unter 10% nebst einem gewissen Gehalt an Mangan, 2. sekundäre Zufuhr von Eisen aus Lösungen, 3. reichlicher Wassergehalt der Lehme, 4. Sandkörner, die sozusagen als Katalysatoren zur Bohnerzbildung beitragen³⁾.“

„Abgesehen von der Verschiedenheit der Säugetierreste“, so führt er schließlich hinsichtlich der Natur der älteren und jüngeren Bohnerze aus, „lassen sich noch weitere Unterschiede“ feststellen, wofür er die älteren Bohnerze von Frohnstetten und die jüngeren Bohnerze von Salmendingen als Beispiele heranzieht und nachstehende Merkmale derselben gegenüberstellt:⁴⁾

Ältere Bohnerze.

1. Reines, primäres Bohnerz, oft durch Brauneisenstein verbacken.
2. In den Erzlagern keine W. J.-Gerölle.
3. Keine Beimengung von Quarzsand.
4. Der Bohnerzlehm ist vollständig kalkfrei.
5. Die Bohnerze lagern in Mulden oder flachen Einsenkungen, selten in Spalten und nur auf oberstem W. J.
6. Die Fossilien sind meist gut erhalten.

Jüngere Bohnerze.

1. Stark abgerollte Mischung von primärem, sekundärem und Pseudo-bohnerz.
2. In den Erzlagern zuweilen W. J.-Kalk eingeschlossen.
3. Teilweise viel Quarzsand.
4. Der Lehm enthält bis zu 6% CaCO_3 .
5. Die Bohnerze liegen in Spalten des mittleren W. J.
6. Die Fossilien sind oft bis zur Unkenntlichkeit abgerollt.

¹⁾ K. Weiger, l. c., S. 202. ²⁾ Ebenda, S. 203. ³⁾ Ebenda, S. 209.

⁴⁾ Ebenda, S. 226.

„Eine Ablagerung noch jüngeren Alters stellen die mit Diluviallehm verschwemmten Bohnerze der Salmendinger Gegend vor. Hier findet man überall in den flachen Talmulden ‚Bohnerzböden‘, bestehend aus schwarzbraunem lehmigen Humus mit einzelnen stark abgerollten Bohnerzkörnern und Geröllen, dazwischen hin und wieder in Brauneisenstein umgewandelte W. J.-Petrefakten¹⁾.“ Hierfür führt er nachstehendes Profil²⁾ an der Salmendinger Steige an:

20— 25 cm schwarzbrauner, lehmiger Humus mit einzelнем Bohnerz,
90—100 „ dunkelbrauner, humoser Lehm mit W. J.-Geröll, sekundärem, abgerolltem Bohnerz und Brauneisensteinpetrefakten. Unten größere, plattige W. J. β -Stücke. Geschichteter Betakalk.

Erläuternd fügt er hinzu: „Diese Decke schneidet nach unten zu scharf gegen die bereits erwähnten Spaltenlehme ab. Die Brauneisensteinpetrefakten kommen in der ganzen Schicht gleichmäßig vor, auch habe ich darin eine Pseudomorphose von Brauneisenstein nach Schwefelkies gefunden, wie solche in den Bohnerzlehm der Gegend vorkommen. Diese Bohnerzböden setzen sich also zusammen aus dem dunklen Verwitterungslehm des W. J. β , γ und δ und hergeschwemmtem Bohnerzlehm; letzterer ist ein Relikt von der obermiocänen Einschwemmung vom Monk etc., wobei das Bohnerz durch Beraubung seiner sekundären Lagerstätte auf die Betafläche verlagert wurde. Der Bohnerzlehm hat also das Schicksal, das die Bohnerze von Monk etc. nur einmal getroffen hat, zweimal mitgemacht. Die Geschichte dieser Bohnerze wäre also ungefähr folgende: 1. primäre Bildung der Bohnerze auf Epsilon- oder Zeta-Untergrund; 2. die ε - und ζ -Kalke werden denudiert, das Bohnerz sinkt auf die Deltahochfläche herab und wird hier zum Teil in Spalten eingeschwemmt — sekundäres Bohnerz; 3. ein Teil der γ - und δ -Kalke verschwindet auch, das Bohnerz wird wieder teilweise seiner Lagerstätte beraubt und sinkt auf die Betahochfläche herab, wo es jetzt mit Diluviallehm vermischt lagert — diluviales Bohnerz³⁾.“ Demzufolge hat man es „auf dem Albplateau mit Bohnerzen von ganz verschiedenem Alter zu tun:

1. obereocäne Bohnerze vom Frohnstetter Typus;
2. unteroligocäne Bohnerze von Veringenstadt;
3. obermiocäne Bohnerze mit Anchitherium;
4. pliocäne Bohnerze mit Hipparium;
5. diluvial verschwemmte Bohnerze⁴⁾.

Daß letzten Endes auch noch vulkanische Auswurfsprodukte des an Vulkanembryonen so reichen Gebietes an der Ausfüllung der Ge-

¹⁾ K. Weiger, l. c., S. 226.

²⁾ Ebenda, S. 227.

³⁾ K. Weiger, l. c., S. 227.

⁴⁾ Ebenda, S. 229.

steinsklüfte, wenn auch nur untergeordneten Anteil genommen haben, wurde schon erwähnt, doch nur die der Verwitterung widerstandsfähigsten Minerale wie Zirkon, Rutil und Granat konnten sich erhalten. Ähnliches gilt, wie gleichfalls schon angedeutet, für die zugeführten Quarzsande, die aus dem Jura und aus dem Tertiär entstammen. Zumeist durch Windtransport verfrachtet, gelangten die Sande in die die Alboberfläche überdeckenden lehmigen Schichten und wurden mit diesen vermengt in die Spalten und Höhlungen des Kalkgesteins eingeschwemmt¹⁾.

Wir entnehmen aus diesen Mitteilungen nicht nur die von K. Weiger erkannte, erhebliche Verschiedenheit der Spaltenausfüllungsmassen, sondern erblicken auch vom bodenkundlich-genetischen Gesichtspunkt betrachtet, darin, wie später gezeigt werden soll, die Möglichkeit einer scharfen Trennung der Terra rossa-Bildung von der gewöhnlichen Spaltenlehmausfüllung. Ganz besonders wird aber auch dadurch die Erkenntnis angebahnt, daß nicht alle Spaltenausfüllungsmassen schlechthin unter den Begriff der Terra rossa fallen, wie solches vor noch nicht allzu langer Zeit meist angenommen wurde, sondern, daß sich hier eine strenge Scheidung sowohl in morphologischer wie in genetischer Hinsicht am Platze erweist.

Auf unserer Weiterfahrt von Villingen über Donaueschingen im oberen Donautal traten wir bei Geisingen und Immendingen in das Weißjuragebiet der Hochalb ein. Von dort wandten wir uns über Mauenheim nach Hattenheim, wo wir beim Erreichen der Höhe die ersten Roterdevorkommnisse dieses Gebietes feststellen konnten, die sich hier allerdings noch wenig in Erscheinung tretend vorfinden. Hier von wurden am Walde etwa 1 km von Hattingen Proben genommen, und zwar aus einem Wegeeinschnitt, wo eine schwache Roterdedecke unter humosem Oberhorizont den Kalkstein überlagert. Einige hundert Meter weiter nach Hattingen zu wurde noch eine Ackerbodenprobe aufgesammelt. Der Aufschluß bot im großen und ganzen allerdings nichts besonders Bemerkenswertes. Im anstehenden Kalkstein handelt es sich um Weißjura- ζ , der unmittelbar bei Hattingen an miozäner Juranagelfluh m_3 angrenzt und von dieser bis nach Emmingen überdeckt wird, wo sie noch weiter östlich, ebenso wie bei Liptingen, von unterer Süßwassermolasse o 3 vertreten wird²⁾.

Der Malmkalk (Probe 3) ist im frischen Zustande gelblich bis hellgrauweißlich gefärbt und z. T. mit rein weiß gefärbten Partien

¹⁾ Vgl. ebenda u. a. S. 229 und 245.

²⁾ Vgl. Geolog. Übersichtskarte von Württemberg 1:200000, Bl. 3. Herausgegeben vom Württ. Statist. Landesamt.

durchsetzt, er ist dicht, etwas körnig ausgebildet. Die Oberfläche der Gesteinsbruchstücke weist einen gelben, z. T. von anhaftenden Lehmteilchen herrührenden Überzug auf, der sich auch manchmal grau gefärbt zeigt. Das Gestein ist im Innern recht fest, wenn auch wohl das Gefüge anscheinend durch Verwitterung zum Teil etwas gelockert worden ist.

Der dunkelschwarzbraune, rendzinaartige Ackerboden (Probe 2) enthält wenige, große, wenig gerundete, eckige Kalksteinbruchstücke, die mit gelblichen oder auch graubraunen, erdigen Teilchen der Bodenmasse überzogen und verkittet sind, außerdem aber sehr viele, kleine und kleinste mit Lehm verbackene Kalksteinsplitter. Die Anteilnahme von organischer Substanz ist reichlich, und zwar ganz besonders eine solche von gröberer Wurzelmasse. Der Bodenanteil unter 2 mm Korngröße stellt eine krümelige Bildung dar. Unter Wasser zerfallen die Krümel in eine lehmige, tonige Masse, die nur verhältnismäßig wenig sandige Teile aufweist, welche letztere aus ganz kleinen, abgerundeten, hellweißen bis gelblichen Quarzen bestehen. Bohnerz ist nur in verschwindender Menge, etwa $\frac{1}{2}\%$ der ganzen Masse, zugegen, außerdem sind, wenn auch in noch geringerer Anzahl, kleine schwarze, etwas gerundete und korrodierte Basalt- bzw. Basalttuffsteinchen vorhanden. Die Bohnerze sind durchaus gerundet bzw. abgerollt und mit einer mattglänzenden Rinde bedeckt, sie sind oberflächlich braun, innen rot gefärbt und von schaliger Anordnung. Sie sind selten erbsengroß, zumeist von der Größe eines Senfkorns.

Auch die Kalkroterde (Probe 1) enthält bis zu etwa $\frac{1}{3}$ ihrer Masse angewitterte, aber nicht gerundete Kalkbruchstücke von zumeist nur unter Nußgröße liegenden Dimensionen. Alle Bruchstücke sind gelb bis rötlich überzogen. Den Anteilen unter 2 mm kommt eine krümelige, lehmig-tonige Beschaffenheit zu, auch wenige, bolusartige Teilchen sind vorhanden. Desgleichen finden sich nur wenig Bohnerze von splitteriger, mürber Ausbildung und innen roter Färbung vor. Die ausgeschlämmte, lehmig-tonige Feinerde läßt einen sandigen Anteil, zur Hauptsache aus kleinen, abgerollten Quarzen von weißer oder gelber Farbe bestehend, zurück.

Es mag auch für die auf dem Jurakalk sich ausbildenden Roterden darauf hingewiesen sein, daß deren Rotfärbung bei ihrer Aufbewahrung im Laboratorium bzw. Institut deutlich gelitten hat, so daß heute nach fast vierjähriger Lagerung nur noch zumeist gelbe Farbtöne zu erkennen sind.

Die chemische Analyse dieser Proben erbrachte nachstehende Befunde:

Gesamtanalysen.

	2 Dunkelbrauner Ackerboden %	1 Kalkroterde %	3 Kalkstein %
SiO ₂	40,75	32,62	2,54
TiO ₂	0,68	0,56	0,01
Al ₂ O ₃	15,32	15,43	0,40
Fe ₂ O ₃	7,79	7,65	0,26
Mn ₃ O ₄	0,05	0,03	—
CaO	8,81	16,75	53,41
MgO	1,34	1,26	0,40
K ₂ O	1,29	1,20	0,16
Na ₂ O	0,25	0,16	0,03
P ₂ O ₅	0,21	0,14	0,03
SO ₃	0,01	0,01	0,01
CO ₂	6,86	13,25	42,35
org. Substanz	5,53	0,50	—
Hydr. H ₂ O	6,48	5,28	0,15
Feuchtigkeit	5,05	5,46	0,34
Summe	100,42	100,30	100,09

	Dieselben umgerechnet auf von Feuchtigkeit und org. Substanz befreite Masse			Desgleichen auch karbonat- frei berechnet		
	2 %	1 %	3 %	2 %	1 %	3 %
SiO ₂	45,36	34,58	2,54	54,84	50,73	69,67
TiO ₂	0,76	0,60	0,01	0,92	0,87	0,22
Al ₂ O ₃	17,05	16,36	0,40	20,61	24,00	10,89
Fe ₂ O ₃	8,67	8,11	0,26	10,48	11,90	7,06
Mn ₃ O ₄	0,05	0,03	—	0,07	0,04	—
CaO	9,81	17,75	53,58	0,42	0,32	1,15
MgO	1,50	1,34	0,40	1,56	1,57	0,60
K ₂ O	1,43	1,27	0,16	1,74	1,86	4,37
Na ₂ O	0,27	0,16	0,03	0,34	0,25	0,71
P ₂ O ₅	0,23	0,14	0,03	0,28	0,22	0,96
SO ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,27
CO ₂	7,63	14,05	42,48	—	—	—
Hydr. H ₂ O	7,22	5,60	0,15	8,72	8,22	4,09
Summe	99,99	100,00	100,05	99,99	99,99	99,99

Ein Vergleich der unmittelbar gefundenen Werte der Bauschanalysen des dunkelbraunen Ackerbodens und der Kalkroterde zeigt eine nicht zu verkennende Ähnlichkeit beider Proben mit Ausnahme des darin enthaltenen Kalkkarbonatgehaltes, der im Fall der Roterde

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes.

	2 %	1 %	3 %
SiO ₂	70,99	65,38	82,61
TiO ₂	1,16	1,10	0,16
Al ₂ O ₃	20,13	24,84	10,55
Fe ₂ O ₃	3,96	4,47	0,82
CaO	0,54	0,43	1,41
MgO	1,23	1,49	0,74
K ₂ O	1,55	1,80	2,59
Na ₂ O	0,35	0,27	0,15
H ₂ O	0,16	0,16	0,69
Summe	100,07	99,94	99,72

Salzsäureauszüge.

	2 %	1 %	3 %
HCl-lösliche SiO ₂	0,13	0,14	0,071
karb.-lösliche SiO ₂	(1,43)	(1,57)	
TiO ₂	0,02	0,01	0,003
Al ₂ O ₃	3,80	3,09	0,081
Fe ₂ O ₃	5,52	5,43	0,233
Mn ₃ O ₄	0,05	0,03	—
CaO	8,50	16,54	53,410
MgO	0,64	0,52	0,400
K ₂ O	0,40	0,31	0,082
Na ₂ O	0,05	0,03	0,022
P ₂ O ₅	0,21	0,14	0,035
SO ₃	0,01	0,01	0,010
Glühverlust	23,92	24,49	42,828
(H ₂ O--)	(5,05)	(5,46)	(0,340)
(CO ₂)	(6,86)	(13,25)	(42,360)
(org. Substanz)	(5,53)	(0,50)	—
Rückstand	57,17	49,57	2,974
Summe	100,42	100,31	100,149

doppelt so hoch ausgefallen ist, von der aber die Zusammensetzung des Kalkgesteins naturgemäß erheblich abweicht. Der auf die von Wasser und organischer Substanz befreite Masse umgerechnete Analysenausfall läßt gleiches erkennen. Jedoch noch deutlicher tritt diese Feststellung in der Zusammensetzung der auch noch karbonatfrei berechneten Substanz in Erscheinung, insofern als sich die Proben 2 und 1 nur recht wenig unterscheiden, wenngleich sich auch wohl für die Roterde auf eine etwas geringere Anteilnahme an Kieselsäure und demgegenüber etwas höhere Beteiligung der Sesquioxyde schließen läßt. Da es sich hier jedoch fast nahezu um das gleiche Mengenverhältnis handelt, so könnte

	Dieselben umgerechnet auf von Feuchtigkeit und org. Substanz befreite Masse			Desgleichen auch karbonat- frei berechnet		
	2 %	1 %	3 %	2 %	1 %	3 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,14	0,15		0,17	0,22	
karb.-lösl. SiO ₂	(1,59)	(1,66)	0,071	(1,92)	(2,43)	2,02
TiO ₂	0,02	0,01	0,003	0,02	0,01	0,09
Al ₂ O ₃	4,23	3,28	0,081	5,11	4,81	2,30
Fe ₂ O ₃	6,14	5,76	0,233	7,42	8,45	6,62
Mn ₃ O ₄	0,06	0,03	—	0,07	0,04	—
CaO	—	—	53,510	—	—	—
MgO	0,53	0,29	0,400	0,63	0,43	—
K ₂ O	0,45	0,33	0,082	0,54	0,48	2,33
Na ₂ O	0,06	0,03	0,022	0,07	0,04	0,63
P ₂ O ₅	0,23	0,15	0,035	0,28	0,22	0,99
SO ₃	0,01	0,01	0,010	0,01	0,01	0,29
Hydr. H ₂ O . . .	7,21	5,60	—	8,72	8,21	—
CaCO ₃	16,89	31,29	CO ₂ 42,569	—	—	—
MgCO ₃	0,40	0,55	—	—	—	—
Rückstand . . .	63,64	52,54	2,980	76,94	77,06	84,73
Summe	100,00	100,02	99,996	99,98	99,98	100,00

Desgleichen auch noch von Rückstand befreit.

	2 %	1 %	3 %
SiO ₂	0,74	0,96	13,23
TiO ₂	0,09	0,04	0,59
Al ₂ O ₃	22,18	20,99	15,06
Fe ₂ O ₃	32,20	36,87	43,35
Mn ₃ O ₄	0,30	0,17	—
CaO	—	—	—
MgO	2,73	1,88	—
K ₂ O	2,34	2,09	15,26
Na ₂ O	0,30	0,17	4,13
P ₂ O ₅	1,22	0,96	6,48
SO ₃	0,04	0,04	1,90
Hydr. H ₂ O . . .	37,85	35,82	—
Summe	99,99	99,99	100,00 ¹⁾

an eine Verschiebung des Sesquioxidgehaltes im Sinne einer Illuvialhorizontbildung gedacht werden, der allerdings nur ein sehr geringes

¹⁾ Allerdings ist hier darauf Rücksicht zu nehmen, daß eine derartige Umrechnung infolge der nur sehr geringen Anteilnahme der nichtkarbonatischen und nichtsilikatischen Bestandteile am Aufbau der Gesamtmasse als nicht mehr sehr zuverlässig angesehen werden kann.

Ausmaß zukommen würde. Jedoch es sprechen hierfür gerade nicht sehr die Befunde der Salzsäureauszüge, so daß im allgemeinen auf eine recht gleiche Beschaffenheit beider Proben in ihrer Zusammensetzung geschlossen werden darf. Man könnte daher versucht sein anzunehmen, daß die Ackerbodenprobe als degradierte Roterde anzusehen sei. In den wasser-, organische Substanz und karbonatfrei berechneten Bauschanalysen aller drei Proben macht sich der Unterschied in der Zusammensetzung der Verwitterungsprodukte 2 und 1 von der des Gesteins besonders stark geltend. Gleiches geht auch aus den Befunden der Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes hervor, denn Probe 2 und 1 gleichen sich immer noch, während das Gestein einen wesentlich andersartig zusammengesetzten Rückstand zeigt. Jedenfalls läßt sich aus allen diesen analytischen Daten, die nahe Beziehung, in der Ackerboden und Roterde zueinander stehen, erkennen. Nur soviel möge an dieser Stelle unseren Untersuchungen entnommen sein.

Wenn nun auch im Verlauf unserer Begehungsfahrt zunächst die Fundorte von Liptingen zur Aufnahme kamen, so möge doch die Wiedergabe und Besprechung einer Roterdeprobe mit gleichfalls ziemlich humosem Oberboden unter Buchenwald auf massigem Malmkalk ^{w_e} eingeschaltet sein, da sie nur eine einzelne Probe ist, die an der Straße von Fridingen an der Donau nach Beuron, oberhalb der erstgenannten Ortschaft, abwechselnd auftretend mit schwarzen Bodenbildungen, beobachtet und untersucht wurde. Diese Roterde hat ihre durchaus rote Farbe auch noch bei der Aufbewahrung im Institut behalten. Es handelt sich in ihr um eine sandig-tonige Feinerde mit nur wenig Humus, aber durchsetzt mit über zur Hälfte stark korrodierten Kalksteinbruchstücken aller Größen, die deutlich an ihrer Oberfläche die bekannte metasomatische Verdrängungszone zeigen und z. T. konglomeratische Verkittungen einer krümeligen Masse von Kalk, Ton und Humus bzw. Wurzeln erkennen lassen. Diese Probe enthält kein Bohnerz, jedoch wohl einige vererzte Brocken, die sich teilweise noch im Verbande mit Kalkgestein befinden. Der abgeschlammte Rückstand des Feinerdeanteils setzt sich fast gänzlich aus einem feinen, weißen Sand und etwas rotem Erz, das wohl als Bohnerzrückstand angesehen werden darf, zusammen.

Nach dem Ausfall der chemischen Untersuchung zu urteilen, liegt, wie nachstehende Befunde dartun, keine sehr typisch ausgebildete Roterde vor, so daß auch hier anzunehmen ist, daß dieselbe mit dem nicht zur Untersuchung entnommenen Humusboden in naher stofflicher Beziehung steht, wofür u. a. auch besonders die Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes spricht.

Gesamtanalysen.

		Wasser- und org. Substanzfrei berechnet	Desgl. u. karbonatfrei berechnet	des in Salzsäure unlöslichen Rückstände
	%	%	%	%
SiO ₂	29,63	30,59	61,41	81,62
TiO ₂	0,61	0,63	1,26	1,65
Al ₂ O ₃	7,14	7,37	14,79	13,30
Fe ₂ O ₃	4,52	4,67	9,38	1,60
Mn ₃ O ₄	0,04	0,04	0,08	—
CaO	28,14	29,06	1,94	0,13
MgO	0,44	0,45	0,90	0,17
K ₂ O	0,47	0,48	0,96	0,98
Na ₂ O	0,23	0,24	0,48	0,56
P ₂ O ₅	0,19	0,19	0,38	—
SO ₃	0,01	0,01	0,02	—
CO ₂	21,38	22,08	—	—
org. Substanz . . .	0,96	—	—	—
Hydr. H ₂ O	4,05	4,18	8,38	—
Feuchtigkeit . . .	2,70	—	—	—
Summe	100,51	99,99	99,98	100,01

Salzsäureauszug.

		Wasser- u. org. Sub- stanzfrei berechnet	Desgl. u. karbonat- frei berechnet	Desgl. u. rückstand- frei berechnet
	%	%	%	%
HCl-lösl. SiO ₂ . .	0,12	0,12	0,24	0,96
karb.-lösl. SiO ₂ .	(1,25)	(1,29)	(2,59)	0,08
TiO ₂	0,01	0,01	0,02	0,08
Al ₂ O ₃	2,33	2,41	4,84	19,37
Fe ₂ O ₃	3,94	4,07	8,18	32,73
Mn ₃ O ₄	0,04	0,04	0,08	0,32
CaO	28,09	0,86	1,73	6,93
MgO	0,38	0,39	0,78	3,12
K ₂ O	0,12	0,12	0,24	0,96
Na ₂ O	0,03	0,03	0,06	0,24
P ₂ O ₅	0,19	0,20	0,40	1,60
SO ₃	0,01	0,01	0,02	0,08
Glühverlust . . .	29,09	Hydr. H ₂ O 4,18	8,40	33,61
Feuchtigkeit . . .	(2,70)	—	—	—
CO ₂	(21,38)	CaCO ₃ 50,23	—	—
org. Substanz . . .	(0,96)	—	—	—
Rückstand	36,15	37,33	75,01	—
Summe	100,50	100,00	100,00	100,00

Östlich von Hattingen wurde von uns bei Windegg und Emmingen in einigen Aufschlüssen anstehende Nagelfluh festgestellt, so daß wir uns davon überzeugen konnten, nunmehr in den Bereich tertiärer Meeresablagerungen gelangt zu sein. Etwa 2 km östlich von Liptingen an einer Straßenkreuzung, dort, wo sich der Weg nordwärts nach Neuhausen ob Eck abzweigt, steht klüftiger Kalkstein *w_e* an, der in Spalten nur mit einem schwach rötlichbraun gefärbten Lehm erfüllt ist. Hier wurden Proben vom Kalkstein (1), vom Spaltenlehm (2) und von überlagerndem Humusboden (3) entnommen.

Das Gestein ist in nahezu frischem Zustande ein durchaus dichter Kalkstein von muscheligem Bruch und weißgrauer Farbe, jedoch weist er einen Anflug von rötlicher Färbung auf, und in kleinen feinen Äderchen ist als Anzeichen wandernder Eisenlösungen rot gefärbtes Eisenoxyd zur Ausscheidung gelangt. Der dichte Kalkstein ist oftmals mit kristallin ausgeschiedenen, rein weißen Kalksteinpartien durchsetzt. Die Oberfläche von Kalksteinbruchstücken zeigt den charakteristischen, durch metasomatische Verdrängung des Kalkes hervorgegangenen, rot gefärbten Überzug.

Der Spaltenlehm stellt in seinen feinerdigen Teilen einen rötlich gelbbraunen, tonigen Lehm dar. Er ist durchsetzt mit kleinen eckigen Kalkbruchstücken, die mit einer roten Rinde überzogen sind, so daß seine ursprüngliche Farbe sicherlich als rot zu gelten hat. Die Kalkbruchstückchen sind meist von dichter Beschaffenheit, wohl aber auch spätig oder faserig. Des weiteren lassen sich, wenn auch nicht allzu häufig, gerundete Quarzkörner von 1—3 mm Durchmesser wahrnehmen, und kleine bohnerartige Gebilde, z. T. fest, z. T. weichsandig, rot oder bräunlich gefärbt, gelangen zur Feststellung. Dieselben täuschen jedoch nur Bohnerze vor, denn in Wirklichkeit handelt es sich in ihnen wohl fast in den meisten oder allen Fällen, um vererzte tonige Gebilde und um festen Toneisenstein. Dieselben sind zwar gerundet, aber äußerlich doch sehr stark angegriffen und von rauher Oberfläche. Zerschlagen zerfallen die weichen Körner zu einer gelben oder roten erdig-sandigen Masse. Die Feinerde besteht aus porösen Krümeln, ausgeschlämmt läßt sie schließlich einen sandigen Rest zurück, der aus weißem, mehr oder weniger gerundetem Quarz, Kalkspat und Tonstein zusammengesetzt ist.

Der Humusboden ist dunkelrotbraun gefärbt, enthält reichlich Wurzelreste und auch wohl einige Kalksplitterchen, er besteht zur Hauptsache jedoch aus festen, eckigen, dunkelrotbraun gefärbten, vielkantigen Krümeln bis zu halber Haselnußgröße. Aufgeschwemmt unter Wasser erweisen sich dieselben als tonige Massen, die einen sandigen Rückstand rotbrauner Bruchstücke hinterlassen. Eigentliche Bohnerze sind auch hier wohl kaum vorhanden.

Die chemische Untersuchung ergab nachstehende Resultate:

Gesamtanalysen.

				Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und org. Substanz befreite Masse		
	Humus- boden	Spalten- lehm	Kalk- stein	Humus- boden	Spalten- lehm	Kalk- stein
	3 %	2 %	1 %	3 %	2 %	1 %
SiO ₂	53,08	44,78	0,379	58,41	47,95	0,38
TiO ₂	1,26	1,74	0,007	1,39	1,86	0,01
Al ₂ O ₃	16,32	21,74	0,099	17,96	23,28	0,10
Fe ₂ O ₃	8,56	9,71	0,242	9,42	10,34	0,24
Mn ₃ O ₄	0,07	0,03	—	0,08	0,03	—
CaO	1,07	2,68	0,002	1,18	2,87	—
MgO	0,68	0,36	0,006	0,75	0,39	0,01
K ₂ O	1,03	0,61	0,059	1,13	0,67	0,06
Na ₂ O	0,50	0,33	0,021	0,55	0,36	0,02
P ₂ O ₅	0,14	0,16	0,036	0,16	0,17	0,04
SO ₃	0,01	0,01	0,009	0,01	0,01	0,01
CO ₂	0,22	1,50	—	0,24	1,61	—
org. Substanz . .	1,92	0,28	—	—	—	—
Hydr. H ₂ O . . .	7,93	9,74	0,040	8,72	10,43	0,04
CaCO ₃	—	—	98,330	—	—	98,33
MgCO ₃	—	—	0,840	—	—	0,84
Feuchtigkeit . . .	7,66	6,12	0,020	—	—	—
Summe	100,45	99,79	100,090	100,00	99,97	100,08

	Desgleichen auch karbonatfrei berechnet.		
	3	2	1
	%	%	%
SiO ₂	58,74	49,77	42,11
TiO ₂	1,40	1,93	0,78
Al ₂ O ₃	18,05	24,16	11,00
Fe ₂ O ₃	9,47	10,79	26,89
Mn ₃ O ₄	0,08	0,03	—
CaO	0,87	0,86	0,22
MgO	0,75	0,40	0,67
K ₂ O	1,14	0,68	6,56
Na ₂ O	0,55	0,37	2,33
P ₂ O ₅	0,16	0,17	4,00
SO ₃	0,01	0,01	1,00
Hydr. H ₂ O	8,78	10,82	4,44
Summe	100,00	99,99	100,00

	Unlöslicher Rückstand		
	3 %	2 %	1 %
SiO ₂	76,94	65,51	68,70
TiO ₂	1,81	2,55	0,96
Al ₂ O ₃	16,71	27,75	22,36
Fe ₂ O ₃	2,39	2,71	3,00
CaO	0,17	0,17	0,45
MgO	0,14	0,16	1,39
K ₂ O	1,15	0,69	3,01
Na ₂ O	0,68	0,46	0,12
Summe	99,99	100,00	99,99

Salzsäureauszüge.

	Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und org. Substanz befreite Masse					
	3 %	2 %	1 %	3 %	2 %	1 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,18	0,17		0,20	0,18	
karb.-lösl. SiO ₂	(1,20)	(0,93)	0,104	(1,32)	(1,00)	0,10
TiO ₂	0,02	0,01	0,003	0,02	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃	4,83	2,85	0,010	5,32	3,05	0,01
Fe ₂ O ₃	6,91	7,86	0,230	7,60	8,42	0,23
Mn ₂ O ₄	0,07	0,03	—	0,08	0,03	—
CaO	0,95	2,56	25,100	0,74	0,70	—
MgO	0,58	0,25	0,400	0,64	0,27	—
K ₂ O	0,24	0,14	0,047	0,26	0,15	0,05
Na ₂ O	0,03	0,02	0,021	0,03	0,02	0,02
P ₂ O ₅	0,14	0,16	0,036	0,15	0,17	0,04
SO ₃	0,01	0,01	0,009	0,01	0,01	0,01
Glühverlust .	17,73	17,64	H ₂ O ⁺ 0,034	0,73	10,43	0,03
H ₂ O ⁻	(7,66)	(6,12)	0,020	—	—	—
CO ₂	(0,22)	(1,50)	43,700	CaCO ₃ 0,55	3,65	98,33
org. Substanz	(1,92)	(0,28)	—	MgCO ₃ —	—	0,84
Rückstand .	68,76	68,09	0,406	75,67	72,91	0,41
Summe . . .	100,45	99,79	100,120	100,00	100,00	100,07

Der Zusammensetzung nach erfüllt der Spaltenlehm durchaus die Bedingungen für die Beschaffenheit einer Roterdebildung. Aus den Befunden der Gesamtanalysen läßt sich der Spaltenlehm als Illuvialhorizont deuten, jedoch die Salzsäureauszüge der beiden Proben 3 und 2 stehen damit nicht recht im Einklang, denn nur die geringe Zunahme des Eisengehaltes beim Spaltenlehm könnte für eine solche Bildung in Anspruch genommen werden. Es hat daher auch hier, geradeso wie

	Desgl. und karbonatfrei berechnet			Desgl. und rückstandsfrei berechnet		
	3 %	2 %	1 %	3 %	2 %	1 %
HCl-lösl. SiO ₂ . .	0,20	0,19	—	—	—	—
karb.-lösl. SiO ₂ . .	(1,33)	(1,04)	11,11	0,83	0,7	20,41
TiO ₂	0,02	0,01	—	0,08	0,04	—
Al ₂ O ₃	5,35	3,17	1,11	22,38	13,02	2,04
Fe ₂ O ₃	7,64	8,74	25,56	31,96	35,89	46,95
Mn ₂ O ₄	0,08	0,03	—	0,33	0,12	—
CaO	0,74	0,73	—	3,10	3,00	—
MgO	0,64	0,28	—	2,70	1,15	—
K ₂ O	0,26	0,16	5,56	1,09	0,66	10,21
Na ₂ O	0,03	0,02	2,22	0,13	0,08	4,08
P ₂ O ₅	0,15	0,18	4,44	0,63	0,74	8,16
SO ₃	0,01	0,01	1,11	0,04	0,04	2,04
Hydr. H ₂ O	8,78	10,83	3,33	36,73	44,48	6,12
Rückstand	76,09	75,67	45,56	—	—	—
Summe	99,99	100,02	100,00	100,00	100,00	100,01

beim Aufschluß Hattingen, den Anschein, als wenn für die Erhöhung des Eisengehaltes im Spaltenlehm fast nur allein der metasomatische Verdrängungsvorgang verantwortlich gemacht werden kann, so daß; ebenso wie dort, dem Humusboden, infolge seiner nahen Stellung zum Spaltenlehm, die Eigenschaft einer später ausgebildeten Rendzina-bildung abgesprochen werden kann, was sie auch in Wirklichkeit nicht ist. Es stehen mithin in dieser Beziehung die Befunde des Aufschlusses Hattingen und Liptingen in Übereinstimmung.

Jedoch in unmittelbarer Umgebung dieses Aufschlusses, nur etwa 150 m weiter westlich, befindet sich noch eine verlassene Lehm- und Bohnerzgrube in der Nähe des auf der topographischen Karte¹⁾ eingezeichneten Punktes „Denkm. 1799“, dort, wo w_z und w_e unmittelbar aneinander grenzen. Hier dürften allerdings ganz besondere Verhältnisse bei der Ausbildung der Lehmlagerungen mit im Spiele gewesen sein, die nicht nur allein bodenbildenden Vorgängen zu verdanken sind. Nach dem seinerzeit von meinem verstorbenen Mitarbeiter aufgestellten Bericht, der hier möglichst wörtlich wiedergegeben sein mag, um unsere damaligen Eindrücke und Ansichten über diesen etwas eigenartig anmutenden Aufschluß zum Ausdruck zu bringen, liegen die dortigen Profilverhältnisse folgendermaßen: Die Oberfläche des Kalksteins ist hier zu großen Kalkkugeln von 1 bis

¹⁾ Vgl. Reichskarte Einheitsblatt 152a Villingen-Sigmaringen-Tuttlingen-Überlingen 1:100000 (auf der geologischen Übersichtskarte von Württemberg Bl. 3 gleichfalls unter „1799“ gekennzeichnet).

3 m Durchmesser aufgelöst. Diese sind nicht etwa aus massigem, sondern aus bankigem Kalkstein hervorgegangen, so daß die Kugeln von parallelen Schichtfugen durchzogen sind. Daher erscheint ihre Entstehung u. a. nach Art des Zustandekommens des Wollsackgranites unwahrscheinlich. Diese Kugeln liegen in einem strengen, ungeschichteten Ton, haben eine rein weiße, papierdünne, pulverige Oberflächenschicht, der Ton ist auf einige Zentimeter in ihrer unmittelbaren Umgebung grau gefärbt, im übrigen gelb. Die Tondecke überdeckt nur einen Teil der Kugeln, während andere daraus hervor in die nächstfolgende Schicht hineinragen, die sich durch dünnbankige Schichtung als sedimentäre Bildung erweist. Die Sedimentdecke erfüllt den ganzen Rest des Profils bis auf die Ackerkrume in Höhe von 2—3 m. Sie besteht zu unterst aus einem gelbbraunen Lehm, der mit dem unterlagernden gelben Ton große Ähnlichkeit hat, so daß er wohl dessen unmittelbares Umlagerungsprodukt darstellt. Weiter nach oben hin folgen bunte Schichten, von roter, gelber und weißer Farbe, wobei die roten Anteile mehr sandiger, die gelben lehmiger und die weißen rein toniger Natur sind. Den obersten Abschluß bis 50 cm Tiefe bildet ein gelb- und weißfleckiger Lehm, der Kalksteinbruchstücke enthält und in dem sich ein rezentes „braunerde“-artiges Ackerbodenprofil ausgebildet hat. In sämtlichen sedimentären Schichten bis in den Ackerboden hinein finden sich reichlich und z. T. bis faustgroße Bohnerze in besonders reichlicher Menge in ihren unteren Teilen, wo sie die Abbauwürdigkeit des Lehmes für Ziegeleizwecke zunichte machen. Zur Erklärung dieser Vorkommnisse und deren Ausbildungsweise nimmt er in seinem Aufnahmebericht an, daß möglicherweise für die Ablagerung der untersten Schichten mit den Kalkkugeln küstenferne, für die überlagernden küstennahe Meeresbildungsverhältnisse, oder doch jedenfalls solche unter Wasser in Frage kommen könnten, wobei allerdings darauf hingewiesen wird, daß keinerlei Fossilien, die eine solche Auffassung stützen könnten, gefunden wurden. Er gelangte, um dieses noch zu erwähnen, zu dieser Ansicht infolge des Umstandes, daß sich vorliegender Aufschluß im Bereich der tertiären Meeresbildungen befindet. Wir werden auf diese Fragen noch zurückzukommen haben. Daß aber jedenfalls die Bohnerze hier nicht auf primärer Lagerstätte liegen, scheint ihm ganz sicher zu sein.

Nachstehende Proben wurden aus diesem Aufschluß entnommen und der Untersuchung zugeführt:

Probe 1 gelber und stellenweise weiß gefleckter Lehm aus einer Tiefe von etwa 20—50 cm. Derselbe ist mit Kalkbruchstücken durchsetzt, die z. T. durch Verwitterung in eine gelbe bis gelbbraune Masse umgewandelt worden sind. Dieser Lehm enthält eingeschlossene Bohnerze, so daß z. T. ein konglomeratisches Gebilde von Kalkstein, Lehm

und Bohnerz hervorgegangen ist. Die Bohnerze sind gerundet. Der feinerdige Anteil dieser Probe ist ein gelb gefärbter, feinkrümlicher Lehm mit etwas Kalkgrus. Ausgeschlämmt hinterläßt er einen Rückstand von nur ganz kleinen, rot gefärbten Bohnerzen und Bohnerzstückchen, aber auch etwas Quarz, Kalkstückchen und rot überzogene Partikel nebst ganz fein ausgebildetem weißen Sand.

Probe 2 roter, etwas sandiger Lehm aus einer Tiefe unter 50 cm zu großen Bruchstücken und Krümeln ausgebildet. Sein Anteil unter 2 mm Korngröße ist gleichfalls rot gefärbt und von krümlicher Beschaffenheit, führt etwas sandige, verbackene Eisenkonkretionen, aber nur sehr wenig Bohnerz. Seine Ausschlammung läßt einen sandigen Rückstand von Bohnerzen und Zerfallsteilchen derselben übrig, daneben etwas Quarz und Toneisenstein, und zwar alle in einem etwas abgerollten Zustande. Kalkanteile sind nicht vorhanden.

Probe 3 weißer, fetter Ton, auch aus einer Tiefe unter 50 cm, sowohl in großen Brocken als auch in feiner Masse vorliegend. Die Brocken sind manchmal gelb angefärbt und mit etwas sandigen Teilen durchsetzt. Ihre Feinerde ist grauweiß mit etwas gelblicher Anfärbung, krümlich und feinsandig, in ihr sind auch einige weiß gefärbte Bruchstückchen enthalten, die sich nach Behandlung mit Salzsäure und Wasser als mit Kalk und Ton verbackene Quarzfragmente erkennen lassen. Die abgeschlämmte Feinerde besteht in ihrem Rest, der z. T. eine sandige Masse darstellt, aus Kalkfragmenten und gerundetem Quarz sowie auch ganz selten aus Fetzen von Bohnerzmaterial, welches jedoch nur einen sehr geringen Anteil an der Zusammensetzung der ganzen Masse hat.

Probe 4 gelbbrauner Lehm, gleichfalls aus einer Tiefe unter 50 cm. Er ist zerreiblich und mit weißlichen Partien durchsetzt. Die kleinen Anteile über 2 mm sind zumeist von eckiger Form und sandiger Beschaffenheit, sie lösen sich unter Wasser leicht zu Ton auf, der sich leicht abschlammern läßt. Der Lehm enthält etwa $1\frac{1}{2}\%$ Bohnerze und auch sonst noch kleine Steinchen, wie seine Aufschlammung erkennen läßt, da dann größere Bohnerzkörner, jedoch zur Hauptsache rot überzogener Quarz und Tonteilchen, zum Vorschein kommen. Die braungelbe Feinerde bildet einen rötlich angefärbten, krümlichen Boden.

Probe 5 fetter, gelber Lehm über dem Kalkstein. Er enthält rund 15% Bohnerz, jedoch in sehr ungleichmäßiger Verteilung, so daß manche Partien bzw. Stücke ganz erzfrei erscheinen, wogegen andere konglomeratisch ausgebildet sind, die etwa zur Hälfte aus Erzkörnern und Erzsand bestehen. Unter den größeren Körnern finden sich vielfach mürbe, sandige Bohnerze, im allgemeinen sind dieselben hart und fest, sowie auch stets gerundet. Die Probe 5 gleicht in allen ihren Anteilen und in ihrer Ausbildung mit Ausnahme der wesentlich größeren

Anteilnahme der Bohnerze durchaus der Probe 1. Auch sind nur kleine Kalkbruchstücke zugegen, und die Bohnerzkonglomeratbildungen mit Ton sind noch weit besser und typischer ausgebildet. Der ausgeschlammte Rückstand hat die nämliche Beschaffenheit, wie der der Probe 1, enthält aber nur ganz wenig Kalk.

Probe 6 graugrüner Ton, der die großen Kalkkugeln mit der daran anhaftenden papierdünnen, weißen Rinde oder Haut umhüllt, welche letztere aber nicht zu einer besonderen Untersuchung herangezogen werden konnte, da sie sich nicht im reinen Zustande abtrennen ließ. Zur Analyse wurden hier nur ganz reine, graugrüne Tonstücke verwandt. In dem bei der Probeentnahme am Fundort angetroffenen Zustande war dieser Umhüllungston eine völlig homogene, halbfeuchte Tonmasse, völlig frei von irgendwelchen gröberen Anteilen. Auch bei der Ausschlammung dieses Tones ließ sich kein eigentlicher Rückstand abtrennen, sondern lediglich auch nur Tonteilchen, deren völlige Zerteilung bei der buchstäblich fetten und schmierigen Konsistenz der Masse besondere Schwierigkeiten machte. Allerdings stellten sich in den allerfeinsten, letzten Schlammanteilen mikroskopisch kleinste Fetzen einer schwarzen Masse ein, die bei ihrer Kleinheit und Seltenheit nur einen winzigen, kaum nennenswerten Anteil an der Zusammensetzung des Tones nehmen und die dem bloßen Auge kaum, oder doch nur schwierig, bemerkbar werden. Dennoch dürften diese Teilchen dem Ton seine Färbung verleihen. Ihre nach mühseliger Abtrennung ermöglichte Behandlung mit Wasser und Salzsäure ließ sie als ganz winzige, weiße Quarzfragmente, überzogen mit einer Eisenerzhülle, erkennen, wovon wir uns, nämlich hinsichtlich der Natur der schwarzen Umhüllungsmasse, durch den positiven Ausfall der Berlinerblaureaktion überzeugen konnten, während der weiße Quarz als nicht mehr in HCl lösliche Substanz übrig blieb und durch geeignete optische Feststellung als solcher identifiziert werden konnte.

Probe 7 grauweißes, dichtes Kalkgestein von z. T. etwas kristalliner Ausbildung. Dasselbe ähnelt im großen und ganzen sehr dem Gestein des ersten Liptinger Aufschlusses, wenn es nicht sogar demselben gleich ist. Bruchstücke desselben sind oberflächlich gelb überzogen.

Probe 8 große, wahllos in der Lehmgrube aufgefundene und dort überall herumliegende Bohnerzgebilde von z. T. recht umfangreichen Dimensionen, von welchen Stücke bis zu Faustgröße entnommen, aber nicht chemisch untersucht wurden. Sie liegen in den verschiedensten Ausbildungsformen vor, entweder als durchaus feste, harte, durch Eisenerz verbundene Bohnerzkonkretionen, welche äußerlich mit glatter, polierter Oberfläche versehene Gerölle von dunkelrotbrauner bis schwarzer Farbe darstellen, oder welche in Gestalt von Bohnerz mit Tonstein konglomeratisch verbacken, aber weniger in festen, d. h. an-

gegriffenen Knollen ausgebildet, vorhanden sind. Schließlich erweisen sie sich auch als Konglomerate aus Bohnerz und Lehm und können in-
 folgedessen schon leicht durch Behandlung mit Wasser oder sonstwie
 mechanischer Art einem Zerfall zugeführt werden. Die Bohnerze in allen
 diesen Variationen sind schwarz gefärbte, kugelförmige Gebilde von
 etwa bis zu Haselnußgröße, die im Innern eine konzentrisch-schalige
 Ausbildung zeigen. Ihre Farbe ist im Falle des umhüllenden Tonsteins
 meist rot, im Falle des umgebenden Lehms gelb bis gelbbraun. Den
 beiden ersten Ausbildungsformen kommt die Natur von ausgesproche-
 nen Geröllen zu.

Gesamtanalysen.

	Gelb- u. weiß- fleckiger Lehm aus 20 bis 50 cm Tiefe	Roter, sandiger Ton unter 50 cm Tiefe	Weißer, fetter Ton unter 50 cm Tiefe	Gelb- brauner Lehm unter 50 cm Tiefe	Fetter, gelber Lehm über Kalk- stein	Grau- grüner Ton (Kugel- umhül- lungs- masse)	Kalk- gestein
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
SiO ₂ . . .	39,67	54,98	46,01	40,34	40,21	53,34	1,868
TiO ₂ . . .	1,29	1,44	1,46	2,12	1,78	1,36	0,016
Al ₂ O ₃ . . .	25,77	13,24	30,55	24,65	26,35	17,85	0,590
Fe ₂ O ₃ . . .	13,69	16,74	2,82	14,76	12,57	3,76	0,240
Mn ₂ O ₄ . . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	1,95	0,41	1,90	0,56	0,88	2,13	0,109
MgO . . .	0,30	0,21	0,27	0,22	0,40	1,02	0,092
K ₂ O . . .	0,25	0,10	0,19	0,61	0,30	3,34	0,147
Na ₂ O . . .	0,14	0,21	0,18	0,37	0,27	0,40	0,025
P ₂ O ₅ . . .	0,21	0,12	0,28	0,19	0,33	0,93	0,064
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,010
CO ₂ . . .	1,38	0,14	0,91	0,11	0,06	0,18	—
org. Subst.	0,03	0,02	—	—	—	0,02	—
Feuchtigk.	5,29	2,66	4,84	4,58	5,41	10,46	0,030
CaCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	96,010
MgCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	0,760
Hydr. H ₂ O	10,46	9,83	10,88	11,57	11,42	5,29	0,251
Summe:	100,48	100,13	100,30	100,11	100,05	100,11	100,212

Vor der Auswertung der Analysenergebnisse (S. 223—227) sei darauf
 hingewiesen, daß die bei der Aufnahmeahrt aufgezeichneten Profil-
 verhältnisse, wie sie oben zur Mitteilung gelangt sind, doch wohl keines-
 falls den wirklichen Verhältnissen entsprechen können, denn schon der
 Umstand der obersten Bedeckung der sedimentären Tone durch den
 gelben mit Kalksteinbruchstücken durchsetzten Lehm erweckt die

Desgleichen umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
SiO ₂ . . .	41,69	56,42	48,20	42,23	42,49	59,51	1,86
TiO ₂ . . .	1,36	1,48	1,53	2,22	1,88	1,52	0,02
Al ₂ O ₃ . .	27,08	13,59	32,00	25,80	27,84	19,92	0,59
Fe ₂ O ₃ . .	14,39	17,18	2,95	15,45	13,28	4,20	0,24
Mn ₃ O ₄ . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	2,05	0,42	1,99	0,59	0,93	2,38	0,11
MgO . . .	0,32	0,22	0,28	0,23	0,42	1,14	0,09
K ₂ O . . .	0,26	0,10	0,20	0,64	0,32	3,73	0,15
Na ₂ O . . .	0,15	0,22	0,19	0,39	0,29	0,45	0,02
P ₂ O ₅ . . .	0,22	0,12	0,29	0,20	0,35	1,04	0,06
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,10
CO ₂ . . .	1,45	0,14	0,95	0,12	0,06	0,20	—
Hydr. H ₂ O	10,99	10,09	11,40	12,11	12,07	5,90	0,25
CaCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	95,80
MgCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	0,76
Summe:	100,01	100,01	99,99	100,00	100,01	100,02	100,05

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
SiO ₂ . . .	43,11	56,60	49,27	42,34	42,55	59,77	54,75
TiO ₂ . . .	1,41	1,48	1,56	2,23	1,88	1,53	0,47
Al ₂ O ₃ . .	28,00	13,63	32,71	25,87	27,88	20,01	17,29
Fe ₂ O ₃ . .	14,88	17,23	0,32	15,49	13,30	4,22	7,03
Mn ₃ O ₄ . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	0,21	0,24	0,80	0,44	0,85	2,13	3,19
MgO . . .	0,33	0,22	0,29	0,23	0,42	1,15	2,70
K ₂ O . . .	0,27	0,10	0,20	0,64	0,32	3,75	4,31
Na ₂ O . . .	0,15	0,22	0,19	0,39	0,29	0,45	0,73
P ₂ O ₅ . . .	0,23	0,12	0,30	0,20	0,35	1,04	1,88
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,29
Hydr. H ₂ O	11,36	10,12	11,65	12,14	12,09	5,93	7,36
Summe:	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00

größten Bedenken, eine normale Profilfolge vor sich zu haben. Dies ist denn auch in der Tat der Fall und wird durch die Analysenbefunde ohne weiteres erwiesen, ganz abgesehen davon, daß das Auftreten des gelben Lehms mit Kalksteinverwitterungsbruchstücken und ferner nach oben übergehend in ein rezentes braunerdeartiges Ackerbodenprofil bei dem Fehlen des unterlagernden Grundgesteins doch wohl eine absolute Unmöglichkeit bedeutet. Eine derartige Lehm bildung könnte

Unlöslicher Rückstand.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
SiO ₂ . . .	58,90	74,60	59,44	58,30	58,62	73,39	68,16
TiO ₂ . . .	1,85	1,88	1,88	3,00	2,59	1,86	0,46
Al ₂ O ₃ . . .	33,81	17,44	35,77	32,90	34,30	17,74	20,83
Fe ₂ O ₃ . . .	4,95	5,51	2,39	4,35	3,75	3,35	2,62
CaO . . .	0,12	0,11	0,16	0,10	0,10	0,10	4,11
MgO . . .	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14	0,18	1,74
K ₂ O . . .	0,07	0,10	0,03	0,72	0,14	2,90	1,90
Na ₂ O . . .	0,17	0,24	0,20	0,51	0,36	0,49	0,18
Summe:	99,99	100,01	100,01	100,01	100,00	100,01	100,00

Salzsäureauszüge.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
HCl-lösl. SiO ₂	0,16	0,17	0,14	0,17	0,17	0,19	
karb.-lösl.							0,055
SiO ₂ . . .	(0,93)	(0,55)	(1,07)	(0,44)	(0,82)	(1,20)	
TiO ₂ . . .	(0,05)	0,06	0,01	0,05	0,01	0,01	0,004
Al ₂ O ₃ . . .	3,09	0,43	2,95	1,98	2,92	5,00	0,036
Fe ₂ O ₃ . . .	10,37	12,69	0,98	11,76	10,01	1,33	0,170
Mn ₃ O ₄ . . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	1,87	0,33	1,78	0,49	0,81	2,06	53,800
MgO . . .	0,22	0,11	0,16	0,13	0,30	0,90	0,410
K ₂ O . . .	0,20	0,03	0,17	0,11	0,20	1,24	0,097
Na ₂ O . . .	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,020
P ₂ O ₅ . . .	0,21	0,12	0,28	0,19	0,33	0,93	0,064
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,010
Glühverlust	17,16	12,65	16,63	16,26	16,89	15,95	H ₂ O ⁺ 0,230
H ₂ O ⁻ . . .	(5,29)	(2,66)	(4,84)	(4,58)	(5,41)	(10,46)	0,030
CO ₂ . . .	(1,38)	(0,14)	(0,91)	(0,11)	(0,06)	(0,18)	42,610
org. Subst.	(0,03)	(0,02)	—	—	—	(0,02)	—
Rückstand .	67,07	73,47	77,17	68,91	68,31	72,42	2,680
Summe:	100,48	100,12	100,31	100,10	100,05	100,11	100,216

daher entweder wohl nur durch Aufschwemmung auf die sedimentären Schichten entstanden sein, oder, was noch wahrscheinlicher ist, kommt überhaupt nicht als Überdeckungsschicht in Frage. Letzteres trifft nun auch wohl zu, insofern als die unter 50 cm Tiefe auftretenden Ton-sedimente in der eine Geländevertiefung darstellenden Lehmgrube als Umschlammungsprodukte zum Absatz gelangt sind und dort eine Sedimentation erfahren haben. Dagegen könnte der gelbe, mit Kalkstücken durchsetzte Lehm, der in ein rezentes Ackerbodenprofil übergeht, wohl von den die Kante der Lehmgrube bildenden Kalkstein-

Umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
HCl-lösl.							
SiO ₂	0,17	0,17	0,15	0,18	0,18	0,21	
karb.-lösl.							0,06
SiO ₂ . .	(0,98)	(0,56)	(1,12)	(0,46)	(0,87)	(1,34)	
TiO ₂ . .	0,05	0,06	0,01	0,05	0,01	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃ . .	3,25	0,44	3,09	2,07	3,09	5,58	0,04
Fe ₂ O ₃ . .	10,90	13,02	1,03	12,31	10,58	1,48	0,17
Mn ₂ O ₄ . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	0,12	0,15	0,65	0,37	0,77	2,04	—
MgO . . .	0,23	0,11	0,17	0,14	0,32	1,01	—
K ₂ O . . .	0,21	0,03	0,18	0,12	0,21	1,38	0,10
Na ₂ O . . .	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,06	0,02
P ₂ O ₅ . . .	0,22	0,12	0,29	0,20	0,35	1,04	0,06
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,01
Hydr. H ₂ O	10,99	10,09	11,40	12,11	12,07	5,90	0,23
CaCO ₃ . .	3,30	0,33	2,17	0,26	0,15	0,46	96,01
MgCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	0,86
Rückstand	70,48	75,40	80,83	72,14	72,18	80,80	2,68
Summe:	100,00	99,98	100,01	100,00	100,01	100,00	100,24

Degleichen und karbonatfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
HCl.-lösl.							
SiO ₂ . .	0,18	0,17	0,15	0,18	0,18	0,21	
karb.-lösl.							1,78
SiO ₂ . .	(1,01)	(0,56)	(1,14)	(0,46)	(0,87)	(1,35)	
TiO ₂ . . .	0,05	0,06	0,01	0,05	0,01	0,01	Sp.
Al ₂ O ₃ . .	3,36	0,44	3,16	2,08	3,09	5,61	1,19
Fe ₂ O ₃ . .	11,27	13,07	1,05	12,34	10,59	1,49	5,04
Mn ₂ O ₄ . .	0,03	0,02	0,01	0,02	0,06	0,01	—
CaO . . .	0,12	0,15	0,66	0,37	0,77	2,05	—
MgO . . .	0,24	0,11	0,17	0,14	0,32	1,01	—
K ₂ O . . .	0,22	0,03	0,18	0,12	0,21	1,39	2,97
Na ₂ O . . .	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,06	0,60
P ₂ O ₅ . . .	0,23	0,12	0,30	0,20	0,35	1,04	1,78
SO ₃ . . .	0,02	0,01	Sp.	0,01	0,01	0,02	0,29
Hydr. H ₂ O	11,37	10,13	11,65	12,14	12,09	5,93	6,83
Rückstand	72,89	75,66	82,61	72,33	72,28	81,17	79,52
Summe:	100,01	100,00	99,98	100,00	99,99	100,00	100,00

bänken seitlich herabgerutscht sein, wenn überhaupt nicht eine Verwechslung oder Täuschung in seiner Lage vorliegt, da sich die Ton-

Desgleichen und rückstandsfrei berechnet.

	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %
SiO ₂ . . .	0,66	0,70	0,86	0,65	0,65	1,12	8,69
TiO ₂ . . .	0,18	0,25	0,06	0,18	0,04	0,05	Sp.
Al ₂ O ₃ . . .	12,39	1,81	18,19	7,52	11,15	29,79	5,81
Fe ₂ O ₃ . . .	41,56	53,70	6,04	44,60	38,22	7,91	24,61
Mn ₃ O ₄ . . .	0,11	0,08	0,06	0,07	0,22	0,05	—
CaO . . .	0,44	0,62	3,80	1,34	2,78	10,89	—
MgO . . .	0,88	0,45	0,98	0,51	1,15	5,36	—
K ₂ O . . .	0,81	0,12	1,04	0,43	0,76	7,38	14,50
Na ₂ O . . .	0,11	0,12	0,17	0,07	0,11	0,32	2,93
P ₂ O ₅ . . .	0,85	0,49	1,73	0,72	1,26	5,52	8,69
SO ₃ . . .	0,07	0,04	Sp.	0,04	0,04	0,11	1,42
Hydr. H ₂ O	41,92	41,62	67,07	43,87	43,63	31,49	33,35
Summe	99,98	100,00	100,00	100,00	100,01	99,99	100,00

sedimente unmittelbar seitlich an das anstehende, etwas überragende, feste Gestein mit seinen überdeckenden Verwitterungsmaterialien anschließen. Dazu tritt noch hinzu, daß sich der Aufschluß in einem ausgesprochenen Störungsgebiet befindet, wo sich zwei Etagen des weißen Jura unmittelbar nebeneinander anstehend vorfinden und auch „vermutliche Verwerfungen“ auftreten, wie es die Einzeichnungen der geologischen Karte vermerken. Da jedoch nähere Aufzeichnungen unsererseits leider fehlen, bzw. in den nachgelassenen Angaben meines Mitarbeiters nicht mehr vorhanden sind, so muß ich mich darauf verlassen, was mir dem Gedächtnis nach noch von den Profilverhältnissen in Erinnerung ist, zumal ein nochmaliger Besuch des Aufschlusses unter den jetzigen Verhältnissen kaum durchführbar erscheint. Demzufolge dürften in Wirklichkeit die Profilverhältnisse doch wohl derartig liegen, daß von einer Überdeckung der Tonsedimente durch den gelben Lehm (Probe 1) nicht gesprochen werden kann. Zu unterst liegt der gelbbraune Lehm, darüber die Tonsedimente, und zwar in z. T. etwas unregelmäßiger Anordnung.

Sieht man sich nun den Ausfall der Analysenbefunde des gelben Lehms der Probe 1 und der Probe 5, die gleichfalls einen gelben Lehm darstellt, an, so überrascht die Übereinstimmung derselben, und zwar sowohl in der Gesamtzusammensetzung als auch in der des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes sowie des salzsäurelöslichen Anteils, so daß auf die Gleichheit beider Proben geschlossen werden muß. Probe 4, der gelbbraune Lehm, steht diesen beiden Proben recht nahe und weicht gemeinsam mit ihnen von der Zusammensetzung aller sonstigen Proben des Aufschlusses, und zwar zumeist verhältnismäßig stark, ab, so daß auch hier der Schluß berechtigt erscheint, den gelbbraunen

Lehm als ein wenig verändertes Umwandlungsprodukt des gelben Lehms anzusehen. Daß die Probe 1 als das unmittelbare, rezente Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins aufzufassen ist, dürfte kaum zu bezweifeln sein, und auch der gelbe Lehm aus den tiefsten Lagen der Lehmgrube (Probe 5) steht in nächster Verbindung mit dem Kalk, denn ragen doch die Kalkkugeln, die als aufgelöste Oberfläche des unterlagernden anstehenden Kalkgesteins zu gelten haben, in diese Schicht hinein. Er dürfte daher gleichermaßen ein unmittelbares Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins sein. Der gelbbraune Lehm (Probe 4), dessen Ähnlichkeit mit dem gelben Lehm schon hervorgehoben wurde, unterscheidet sich von diesem eigentlich nur durch seinen etwas höheren Gehalt an Eisenoxyd und dafür etwas geringeren an Tonerde. Das geht sowohl aus der Gesamtanalyse sowie der des unlöslichen Rückstandes und der des Salzsäureauszuges hervor, so daß sein ganzer Unterschied letzten Endes nur auf eine Konzentration des Eisengehaltes hinausläuft. Dagegen stellt sich der vorigen Probe (4) gegenüber Probe 3, der weiße, fette Ton, als ein mehr toniges, eisenärmeres, etwas kalkhaltigeres, jedoch an Alkalien ärmeres Produkt dar, das wohl seine Beschaffenheit einem mechanischen Eingriff zu verdanken hat, wenngleich auch der Salzsäureauszug zu erkennen gibt, daß sich auch ein chemischer Einfluß geltend gemacht hat, da insbesondere die Alkalien leichter löslich geworden sind. In dieser Probe ist außerdem die unlösliche Rückstandsmasse erheblich vermehrt worden, die bei recht ähnlicher Zusammensetzung wie in Probe 4, nur mit Ausnahme der geringeren Anteilnahme an Alkalien, hierauf in gleicher Weise hinweist, und deren Vermehrung an Rückstandsanteilen abermals mechanisch wirkenden Einflüssen zuzuschreiben ist. Die Probe 2, deren Bezeichnung roter, sandiger Ton gewählt wurde, gibt auch in ihrer Analyse den diesbezüglichen Charakter wieder. Die Gesamtanalyse weist denn auch den höchsten Gehalt aller fünf Proben an Kieselsäure auf, den geringsten an Tonerde sowie an sonstigen Bestandteilen, nur ihr Eisengehalt ist abermals der höchste. In derselben Richtung liegt auch die Ausbildung des unlöslichen Rückstandes, Kieselsäure mit nur wenig Tonerde haben den größten Anteil daran, Eisenoxyd ist stark vertreten. Im Salzsäureauszug dominieren gleichfalls Fe_2O_3 und die Menge des unlöslichen Rückstandes, wogegen alle sonstigen Bestandteile, selbst die Tonerde, sehr zurücktreten. Der von Wasser, Karbonat und Rückstand befreite Salzsäureauszug läßt auf eine fast allein aus Eisenoxyd und Hydratwasser bestehende Zusammensetzung schließen.

Eine ganz besonders abweichende Zusammensetzung kommt der Probe 6, d. h. der graugrün gefärbten Umhüllungssubstanz der Kalkkugeln, zu. Trotzdem sie von allen Proben den ausgesprochensten

Toncharakter aufweist, ist ihr Kieselsäuregehalt doch am höchsten und ihr Tonerdegehalt verhältnismäßig stark herabgedrückt. Eisenoxyd ist nur gering, wenn auch etwas mehr als in dem weißen, fetten Ton (3), zugegen. Erdalkalien und Alkalien sowie auch besonders Phosphorsäure nehmen einen relativ recht hohen Anteil. Der Hydratwassergehalt ist allerdings für eine Tonsubstanz nur äußerst ungenügend vorhanden, so daß unter Zugrundelegung seines Gehaltes nur etwa 42% „reiner Ton“ in der Gesamtmasse vorhanden sind, woraus geschlossen werden darf, wie es auch dem Anschein nach zutrifft, bzw. die Aufschlammung der Masse ergeben hat, daß der recht hohe Anteil an sog. Rückstandssubstanz in sehr fein verteilter Zustand zugegen ist. Dieser letztere zeichnet sich denn auch durch einen hohen Kieselsäuregehalt und einen verhältnismäßig geringen Tonerdegehalt bei relativ hoher Anteilnahme der Alkalien aus. Er gleicht in seiner Zusammensetzung recht sehr dem Rückstand der Probe 2, d. h. dem des rot gefärbten, sandigen Tons, wenn auch wohl sein Alkaliengehalt bedeutend höher ist. Auch sein Salzsäureauszug läßt von dem der anderen Proben recht abweichende Verhältnisse erkennen, insofern als sich bei ihm die von Wasser, organischer Substanz und Karbonat befreite, salzsäurelösliche Substanz sehr reich an Sesquioxiden, Erdalkalien und Alkalien einschließlich der Phosphorsäure bei Anwesenheit eines sehr hohen Rückstandes erweist. In der Zusammensetzung des auch noch rückstandsfrei berechneten Salzsäureauszuges kommen diese Unterschiede gegenüber den übrigen Proben noch stärker zum Ausdruck. Es handelt sich somit in ihm nach allen Feststellungen um eine mechanisch sehr stark aufgearbeitete und demnach fein verteilte Masse.

Was schließlich nun noch das Kalkgestein in stofflicher Hinsicht im Vergleich zu den vorbesprochenen Proben anbelangt, so wäre kurz darauf hinzuweisen, daß dasselbe in seiner auf Wasser- und karbonatfreie Substanz umgerechneten Gesamtzusammensetzung eine, wenigstens gegenüber den anderen Proben, nicht ganz zu verkennende Ähnlichkeit mit den analogen Werten der Probe 6 und auch z. T. der Probe 2 zeigt, die sich namentlich in dem höheren Kieselsäure- und niederen Tonerdegehalt wiedergibt und für Probe 6 auch im Gehalt der Erdalkalien und Alkalien einschließlich der Phosphorsäure und Schwefelsäure zum Ausdruck kommt. Ein gleichsinniges, ähnliches Verhalten macht sich, allerdings mit verschiedenen Unterschieden, auch in der Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes geltend, was alles in seiner Gesamtheit darauf hindeuten dürfte, daß auch die graugrüne Umhüllungsmasse der Kalksteinkugeln ebenso wie der rot gefärbte, sandige Ton als ein durch Um- und Ausschlammung der Kalkverwitterungsprodukte hervorgegangenes Restprodukt anzusprechen ist, insofern schwerlösliche Anteile des Kalkgesteins mit an dem Aufbau

teilnehmen. Aus diesen und obigen Erwägungen heraus haben wir es in den vorliegenden, mannigfachen Lehmbildungen, soweit die Proben 2, 3, 4 und 6 in Frage kommen, mit verschwemmten Umlagerungsgebilden zu tun, während in der Probe 5, ebenso wie in Probe 1, ein unmittelbares Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins vorliegt, von welchem Probe 1 als ein rezentes Gebilde und Probe 5 auch als ein jüngeres Gebilde anzusehen ist.

Wenn wir nun auch nicht gewillt sind, auf die Frage nach der Entstehung des Bohnerzes, da sie für uns eine höchst sekundäre Angelegenheit ist, einzugehen und desgleichen auch keine Stellung nehmen wollen zu der weiteren Frage nach dem Unterschiede zwischen primärem und sekundärem Bohnerz, so sind wir doch gezwungen, insoweit auf die Bohnerzfrage Rücksicht zu nehmen, als uns in dem vorliegenden Aufschluß allerorten, und sogar ausnahmsweise, reichlich diese Gebilde entgegen getreten sind, zumeist, wie schon hervorgehoben, zerstreut auf der Oberfläche, insbesondere aber in allen möglichen Formen in dem gelb gefärbten Lehm, dem Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins. Wie unsere Untersuchungen der einzelnen Proben aber ergeben haben, treten sie in der Feinerde der Sedimente nicht mehr, oder doch nur noch in ganz kleinen Gebilden, oder in mehr oder weniger zerstörtem Zustande auf. Nur noch im gelbbraun gefärbten Lehm (4) sind geringe Mengen von ihnen zugegen. Das besagt im großen und ganzen aber nichts anderes, als daß sie in den Lehm- und Tonsedimenten eigentlich als solche nicht vorhanden sind. Wie schon einmal betont, erscheinen uns die Bohnerzbildungen unseres Aufschlusses sämtlich als sekundäre Bildungen, da hierfür ihr Aussehen spricht, ganz gleichgültig dabei, ob sie in einzelnen Individuen, d. h. Bohnerzkugeln, oder in konglomeratischen Geröllen auftreten. Sie sind daher u. E. eingeschwemmt worden, und kann dieses unserer Ansicht nach, um den örtlichen Verhältnissen Rechnung zu tragen, doch wohl nur so geschehen sein, daß sie sich nur in dem Verwitterungslehm des Kalkgesteins finden und hier infolge ihrer spezifischen Schwere zur Ein- und Ablagerung kamen. Die Wassermassen, welche die Einschlammung bewirkten, müssen anfangs von starker Bewegung und Wirkung gewesen sein, denn sonst hätte der anstehende Kalkstein nicht eine kugelförmige Ausbildung erhalten können, und erst später setzten sich wohl im stehenden Wasser die tonigen Sedimente ab, die nur noch kleinere bis kleinste Bohnerzindividuen und Fragmente derselben führen. Demzufolge erweist sich der vorliegende Aufschluß als eine Art Muldenbildung, d. h. jedenfalls als eine Vertiefung im anstehenden Kalk, und die Zufuhr des sedimentären Materials muß, soweit es sich nicht um Verwitterungsmaterial des Kalksteins handelt, worauf unsere Untersuchungen jedoch hinweisen, in verhältnismäßig jüngerer Zeit

stattgefunden haben. Allerdings würde dieses nur eine Möglichkeit der Entstehung und Ausbildung der sedimentären Tonbildungen sein, die uns zwar als die wahrscheinlichste anmutet, denn wenn die Bohnerze zugeführt sein sollen, so müßte auch noch weiteres Material hinzugetreten sein, was aber nach unseren Untersuchungen nicht zu erkennen ist, wenn nicht vorausgesetzt wird, daß solches Material gleichfalls von lehmig-toniger Art gewesen sei, was allerdings wiederum als sehr naheliegend angenommen werden darf. Zwar weist auch die Beschaffenheit der aufgefundenen Bohnerzkonkretionsgerölle des weiteren auf ihre sekundäre Natur hin, insofern als sie z. T. noch in harten, festen Geröllbildungen vorhanden sind, die sich dann erst später durch Verwitterung, wie schon angedeutet, in solche von einem lockeren Gefüge und in einem zersetzten Zustande umgewandelt haben, bis sie schließlich ganz zu stark angegriffenen Bohnerzkugeln oder -körnern aufgelöst worden sind. Dennoch wollen wir uns mit dieser Frage, da sie nach den vorliegenden Untersuchungsbefunden nicht ohne weiteres zu beantworten ist, nicht länger aufhalten. Für unsere Zwecke genügt der Nachweis, daß wir es in unseren Bildungen mit Ausnahme des gelben Lehms nicht mit unmittelbaren Verwitterungsprodukten zu tun haben, wobei allerdings die Frage vorläufig offen bleiben muß, zu welcher geologischen Zeitepoche dieser den Sedimenten unterlagernde Lehm zur Ausbildung gelangt ist, da er mit dem zweifellos rezenten Lehm die gleiche Zusammensetzung und Beschaffenheit aufweist.

Betrachtet man schließlich noch vom gesamtstofflichen Charakter aus die Lehmtonbildungen vorliegenden Aufschlusses, so muß man zugeben, daß sie in ihrer Zusammensetzung Roterdebildungen durchaus gleichen, nur nicht mit Ausnahme der Kalkkugelumhüllungsmasse und des weißen, fetten Tons der Probe 2.

Die Bohnerzgruben im Gebiet des Albabbruches südwestlich von Reutlingen bei Salmendingen, Willmandingen und Genkingen sind, soweit sie von uns besichtigt wurden, alle verfallen, nur am Schaltberg bei Genkingen hatten wir mehr Glück und konnten dortselbst Proben entnehmen. Der Aufschluß liegt östlich von genanntem Ort unweit an der zum Schloß Lichtenstein führenden Straße und gehört dem Weißjura *wγδ* an.

Der anstehende Kalkstein erweist sich im frischen Zustande als ein dichtes, weißgrau gefärbtes Gestein, dessen am Fundort herumliegende Bruchstücke auf ihrer Oberfläche gelb bis gelbbrot gefärbte Überzüge erkennen lassen.

Probe 1 gelber, toniger Lehm mit konkretionären Gebilden, äußerlich ähnlich den Lößkindeln. Er ist dicht und zerfällt im trockenen Zustande in scharfkantige, durch glatte Flächen gekennzeichnete Formen, unter Wasser aufgeschlossen zerteilt er sich unter Hinter-

lassung eines Rückstandes von nur sehr geringen, sandigen Teilchen, die zur Hauptsache aus weißem glänzenden Bergkristall und Kalkspat, dichtem weißen bis gelben Quarz und seltener aus dunkelrotbraun überzogenen Partikeln bestehen. Letztere sind gerundet, beim Zerdücken zerfallen sie in eine heller gefärbte Masse kleinster Bruchstücke, dagegen sind der Quarz, Bergkristall und Kalkspat nicht gerundet, sondern kantig und splitterig ausgebildet.

Dieser gelbe, tonige Lehm setzt sich aus zwei verschiedenen Anteilen zusammen.

1a ist ein fast reiner, bolusartiger Ton, der nach dem Ausschlämmen einen geringen Rest von rötlichem karbonathaltigen Sand hinterläßt.

1b ist eine mergelig-sandige Bildung. In ihr sind reichlich, im abgerollten Zustande vorhandene Knochenreste enthalten. Nach dem Abschlämmen mit Wasser bleiben sehr sandige Teile zurück, die äußerlich dem Rückstand von 1a gleichen, jedoch viel karbonathaltiger sind.

Probe 2 fetter, rotbrauner, eigentlich wohl braunrot gefärbter, krümeliger Lehm aus der Oberkante des gelben Lehms. Er geht in einen feinkrümeligen Boden über, der durch Kalk- und z. T. gerundete Bohnerzsplitterchen nur wenig verunreinigt ist. Die Ausschlämmung der Probe 2 mit Wasser liefert als Rest einen ziemlichen, aus abgerollten Quarzen und Bergkristallen sowie aus wenigem Bohnerz bestehenden Rückstand. Die kleinen Bohnerze sind gerundet und zeigen eine glatte und glänzende Oberfläche.

Probe 3 humoser Horizont, er ist kaffeebraun gefärbt, leicht zerreiblich und von feinsandiger Natur. Diese Probe ist etwas durch die Probe 1b verunreinigt, jedoch wurde dieser Anteil entfernt. Die gesamte Masse der Probe 3 liegt unter 2 mm Korngröße, sie erweist sich also als eine durchaus feinerdige Oberflächenbildung, die keine nennenswerte Menge von Ton abschlämmen läßt, sondern nur feinerdige und sehr reichliche, humushaltige Teile führt.

Probe 4 gelbbraunlich, etwas rötlich gefärbter, rezenter Illuvialhorizont. Er setzt sich aus außen graubraun, innen gelbbraun gefärbten, großen Lehm-Ton-Krümeln zusammen, enthält einige große, gebleichte und wenig kleinere Kalkstücke. Einige Partien in ihm sind bolusartig und bohnerzfrei, insgesamt enthält er etwa 1½% sehr feiner, harter und glänzender Bohnerze, die konglomeratisch mit Lehm verbacken sind. Er ist nur schwach durchwurzelt.

Probe 5 Rendzina, ein dunkelgraubraun gefärbter, feiner krümeliger Lehm Boden, durchsetzt mit Kalkbruchstücken in der Art von Probe 4. Er enthält kein Bohnerz, wohl aber ein paar harte Splitter von Bohnerzschalen.

In den Proben 4 und 5 ist das Zurücktreten der kleineren Korngrößen aus Kalkstein auffallend, denn unter 2 mm findet sich fast nichts mehr davon.

Die chemische Untersuchung dieser Proben führte zu nachstehenden Ergebnissen¹⁾:

Gesamtanalysen.

	gelber Lehm	merge- liger, gelber Lehm	rot- brauner Lehm	humoser Horizont	roterde- artiger Boden- hori- zont	Rend- zina- boden	Kalk- gestein
	1a	1b	2	3	4	5	6
	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	45,12	45,82	40,84	56,58	42,06	58,25	3,428
TiO ₂	1,73	2,19	1,10	1,20	2,02	1,38	0,028
Al ₂ O ₃	23,05	14,61	22,54	6,32	20,63	12,03	0,704
Fe ₂ O ₃	8,18	7,88	13,06	21,53	15,16	8,90	0,420
FeO				0,17	0,10	0,06	—
Mn ₃ O ₄	0,01	0,01	0,05	MnO 2,28	0,79	0,26	—
CaO	1,43	9,34	1,14	—	1,81	1,70	0,029
MgO	0,38	0,42	0,65	0,55	0,20	1,08	0,067
K ₂ O	0,61	0,48	0,31	0,36	1,07	1,52	0,273
Na ₂ O	0,23	0,27	0,28	0,42	0,42	0,42	0,040
P ₂ O ₅	0,19	0,19	0,33	0,50	0,40	0,34	0,065
SO ₃	—	Sp.	—	0,20	0,18	0,20	0,036
CO ₂	0,50	7,10	0,22	CaCO ₃ 2,30	1,48	0,34	92,850
				MgCO ₃ —	—	—	1,510
org. Subst. .	0,07	—	0,09	0,27	0,22	3,16	—
Hydr. H ₂ O	9,79	6,95	9,62	6,32	12,39	9,45	0,330
Feuchtigk. .	8,73	5,14	10,22	1,08	1,07	1,02	0,500
Summe:	100,02	100,40	100,45	100,08	100,00	100,11	100,280

Nach ihrem Vorkommen an Ort und Stelle zu urteilen, erweisen sich zunächst die Proben 1, 2 und 3 insofern einander zugehörig, als sie in Gestalt einer Spaltenausfüllungsmasse im Kalkgestein auftreten und als ältere Einschlammungsprodukte aufgefaßt werden dürfen, während die Proben 4 und 5 als junge, rezente Bildungen anzusprechen sind. Vergleicht man auf Grund des Ausfalls der Gesamtanalysen die Proben 1a, 1b, 2 und 3, so lassen die ursprünglich gewonnenen Analysenzahlen kaum eine befriedigende Schlußfolgerung nach irgend-

¹⁾ Es ist darauf hinzuweisen, daß Probe 3, 4 und 5 vorliegenden Aufschlusses sowie diejenigen der noch folgenden Aufschlüsse Zainingen, Inneringen, Gußenstadt, Ehrenstein und Beimerstetten abweichend von den vorausgehenden in der Weise untersucht wurden, daß hier Gesamtanalyse und Salzsäureauszug durchgeführt wurden und die Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes aus diesen Befunden errechnet wurde.

Desgleichen umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1a %	1b %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
SiO ₂	49,46	48,10	45,28	57,31	42,61	60,72	3,435
TiO ₂	1,90	2,30	1,22	1,22	2,04	1,44	0,028
Al ₂ O ₃	25,27	15,33	25,01	6,40	20,90	12,54	0,704
Fe ₂ O ₃	8,97	8,27	14,49	21,81	15,36	9,28	0,420
FeO				0,17	0,10	0,06	—
Mn ₃ O ₄	0,01	0,01	0,06	MnO 2,31	0,80	0,27	—
CaO	1,57	9,81	1,26	—	1,83	1,79	0,029
MgO	0,42	0,44	0,72	0,56	0,20	1,13	0,067
K ₂ O	0,67	0,50	0,34	0,36	1,08	1,59	0,273
Na ₂ O	0,25	0,28	0,31	0,43	0,43	0,44	0,040
P ₂ O ₅	0,21	0,20	0,37	0,51	0,41	0,35	0,065
SO ₃	—	Sp.	—	0,20	0,18	0,20	0,036
CO ₂	0,55	7,46	0,25	CaCO ₃ 2,32	1,50	0,35	93,054
				MgCO ₃ —	—	—	1,513
Hydr. H ₂ O .	10,73	7,30	10,67	6,40	12,56	9,85	0,330
Summe:	100,01	100,00	99,98	100,00	100,00	100,01	99,994

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	1a %	1b %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
SiO ₂	50,08	57,92	45,55	58,67	43,26	60,94	63,25
TiO ₂	1,92	2,77	1,22	1,25	2,08	1,44	0,52
Al ₂ O ₃	25,58	18,46	25,19	6,55	21,22	12,58	12,99
Fe ₂ O ₃	9,08	9,96	14,58	22,23	15,58	9,31	7,75
FeO				0,18	0,11	0,06	—
Mn ₃ O ₄	0,01	0,01	0,06	MnO 2,36	0,81	0,27	—
CaO	0,89	0,38	0,94	—	1,86	1,79	0,54
MgO	0,42	0,53	0,72	0,57	0,21	1,13	1,24
K ₂ O	0,68	0,60	0,34	0,37	1,10	1,60	5,04
Na ₂ O	0,26	0,34	0,31	0,43	0,43	0,44	0,74
P ₂ O ₅	0,21	0,24	0,37	0,52	0,41	0,35	1,20
	—	Sp.	—	0,21	0,18	0,20	0,66
Hydr. H ₂ O .	10,87	8,79	10,72	6,55	12,74	9,89	6,09
Summe:	100,00	100,00	100,00	99,99	99,99	100,00	100,02

einer Richtung hin zu, nur höchstens in der Art, daß Probe 3 gegenüber den drei anderen gänzlich aus dem Rahmen fällt, was sich in ihrem wesentlich verschiedenen Gehalt an SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO und CaO geltend macht, trotz der auch sicherlich nicht weitgehenden Übereinstimmung dieser Werte bei den drei anderen Proben unter sich. Dennoch lassen die auf wasser-, humus- und karbonatfreie Substanz umgerechneten Zahlen wohl eine Folgerung in dem Sinne zu, daß 1a und 2 in etwas näherer Beziehung zueinander stehen, wenn-

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes.

	Ia %	Ib %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
SiO ₂ . .	65,40	74,72	64,06	70,23	54,34	75,07	75,53
TiO ₂ . .	2,48	3,48	1,70	1,49	2,62	1,78	0,61
Al ₂ O ₃ . .	27,92	17,81	27,31	6,66	24,55	11,74	14,93
Fe ₂ O ₃ . .	3,03	2,71	6,06	17,99	14,42	6,79	2,02
MnO . .	—	—	—	1,07	0,71	—	—
CaO . .	0,06	0,14	0,09	0,66	1,02	1,03	0,66
MgO . .	0,16	0,21	0,23	0,54	—	0,87	1,51
K ₂ O . .	0,63	0,50	0,12	0,40	1,29	1,78	4,50
Na ₂ O . .	0,32	0,41	0,42	0,47	0,50	0,50	0,24
P ₂ O ₅ . .	—	—	—	0,35	0,34	0,30	—
SO ₃ . .	—	—	—	0,15	0,21	0,15	—
Summe	100,00	99,98	99,99	100,01	100,00	100,01	100,00

Salzsäureauszüge.

	Ia %	Ib %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
HCl-lösl.							
SiO ₂ . .	0,17	0,13	0,19	0,16	0,14	0,14	0,057
karb.-lösl.							
SiO ₂ . .	(0,73)	(0,80)	(0,79)	—	—	—	—
TiO ₂ . .	0,03	0,06	0,02	—	—	—	0,001
Al ₂ O ₃ . .	3,86	3,72	5,21	0,97	1,69	2,94	0,038
Fe ₂ O ₃ . .	6,10	6,22	9,22	7,28	4,16	3,72	0,330
Mn ₂ O ₄ . .	0,01	0,01	0,05	MnO 1,42	0,24	0,26	—
CaO . .	1,39	9,25	1,08	0,66	1,85	1,09	52,030
MgO . .	0,27	0,29	0,50	0,12	0,24	0,41	0,720
K ₂ O . .	0,18	0,17	0,23	0,04	0,07	0,14	0,072
Na ₂ O . .	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,04	0,029
P ₂ O ₅ . .	0,19	0,19	0,33	0,22	0,14	0,11	0,065
SO ₃ . .	—	Sp.	—	0,08	0,02	0,08	0,036
Glühverlust	19,09	19,19	20,15	8,68	14,33	13,78	—
(H ₂ O ⁻) . .	(8,73)	(5,14)	(10,22)	(1,08)	(1,07)	(1,02)	0,500
(CO ₂) . .	(0,50)	(7,10)	(0,22)	(1,01)	(0,65)	(0,15)	41,550
(org. Subst.)	(0,07)	—	(0,09)	(0,27)	(0,22)	(3,16)	—
Rückstand	68,73	61,15	63,46	80,34	77,14	77,41	4,495
Summe:	100,03	100,40	100,45	100,01	100,06	100,12	100,023

gleich in ihnen auch eine relative Verschiebung des Kieselsäure- und Eisengehaltes festzustellen ist, wogegen Ib als sandige und mergelige Bildung in ihrem Gehalt an Kieselsäure hiervon abweicht, sich aber der Zusammensetzung der Probe 3 nähert, obschon auch hier, gleichfalls im Gehalt der Sesquioxyde, eine relative Schwankung Platz gegriffen hat. Die Zusammensetzung des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes bringt dieses Verhältnis der einzelnen Proben untereinander

Dieselben umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	1a	1b	2	3	4	5	6
	%	%	%	%	%	%	%
HCl-lösl.							
SiO ₂ . .	0,19	0,14	0,21	0,16	0,14	0,14	0,06
karb.-lösl.							
SiO ₂ . .	(0,80)	(0,84)	(0,88)	—	—	—	—
TiO ₂ . . .	0,03	0,06	0,02	—	—	—	Sp.
Al ₂ O ₃ . .	4,23	3,91	5,78	0,98	1,71	3,06	0,04
Fe ₂ O ₃ . .	6,69	6,53	10,23	7,38	4,21	3,84	0,33
Mn ₃ O ₄ . .	0,01	0,01	0,06	MnO 1,44	0,24	0,27	—
CaO . . .	0,82	0,21	0,89	0,67	1,88	1,14	—
MgO . . .	0,30	0,30	0,55	0,12	0,24	0,43	—
K ₂ O . . .	0,20	0,18	0,26	0,04	0,07	0,14	0,07
Na ₂ O . . .	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,04	0,03
P ₂ O ₅ . . .	0,21	0,20	0,37	0,22	0,14	0,11	0,07
SO ₃ . . .	—	Sp.	—	0,08	0,02	0,08	0,04
Hydr. H ₂ O	10,73	7,30	10,67	6,41	12,54	9,85	0,30
CaCO ₃ . .	1,25	16,95	0,55	CO ₂ 1,02	0,66	0,16	CaCO ₃ 93,02
MgCO ₃ . .	—	—	—	—	—	—	1,51
Rückstand	75,34	64,19	70,49	81,43	78,10	80,69	4,51
Summe:	100,01	100,00	100,00	99,99	99,99	99,95	99,98

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	1a	1b	2	3	4	5	6
	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	0,19	0,17	0,21	0,16	0,14	0,14	1,10
TiO ₂	0,03	0,07	0,02	—	—	—	Sp.
Al ₂ O ₃ . . .	4,28	4,71	5,81	1,00	1,74	3,07	0,73
Fe ₂ O ₃ . . .	6,77	7,86	10,29	7,49	4,27	3,86	6,06
Mn ₃ O ₄ . . .	0,01	0,01	0,06	MnO 1,46	0,24	0,27	—
CaO	0,83	0,25	0,89	—	1,06	0,94	—
MgO	0,30	0,36	0,55	—	0,24	0,43	—
K ₂ O	0,20	0,22	0,26	0,04	0,07	0,14	1,28
Na ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,04	0,55
P ₂ O ₅	0,21	0,24	0,37	0,22	0,14	0,11	1,28
SO ₃	—	Sp.	—	0,08	0,02	0,08	0,73
Hydr. H ₂ O	10,86	8,79	10,73	6,51	12,73	9,89	5,50
Rückstand .	76,29	77,29	70,79	82,64	79,30	81,02	82,75
CO ₂	—	—	—	0,36	—	—	—
Summe:	99,98	99,99	99,99	100,00	99,99	99,99	99,98

abermals, wenn nicht sogar noch deutlicher, zum Ausdruck. Die in Salzsäure löslichen Anteile der genannten vier Proben lassen einerseits den engen Zusammenhang von 1a und 1b erkennen, was durchaus verständlich erscheint, da ja 1b nur die mergelige Ausbildungsform

von 1a darstellt. Dies wird insbesondere deutlich durch den Vergleich der beiden umgerechneten Analysen auf von Wasser und von organischer Substanz sowie auch auf von Karbonat befreite Masse bestätigt. Andererseits zeigt sich aber doch die stoffliche Natur der beiden Proben 1b und 3 auf Grund der Zusammensetzung der Salzsäureauszüge und ihrer Umrechnungswerte nicht als sehr nahe stehend, obgleich in beiden Proben sandig-mergelige Produkte vorliegen. Jedoch trotz der schon erwähnten Ähnlichkeit der beiden Proben 1a und 2 erweist sich letztere von allen bisher behandelten vier Proben des Profils als diejenige, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach die Natur einer Terra rossa am besten wiedergibt. In dieser Hinsicht steht ihr sodann die Probe 4 am nächsten, was aus einem Vergleich der diesbezüglichen Gesamtanalysenwerte sowie auch der übrigen Befunde trotz mancher Abweichungen entnommen werden kann, wogegenüber Probe 5, der Rendzinaboden, gänzlich absticht, wenn auch eine genetische Verbindung zwischen den Proben 4 und 5 besteht. Ohne noch die sich aus den analytischen Daten ableitbaren, möglichen Beziehungen nach einer oder anderer Richtung weiter verfolgen zu wollen, da hierfür die zur Verfügung stehenden Ermittlungen, infolge des schon erwähnten Umstandes einer durchaus möglichen Vermischung des Probenmaterials, für derartige Zwecke nicht gerade sehr geeignet erscheinen, so muß doch letzten Endes, indem den natürlichen Verhältnissen des Auftretens und Vorkommens der Proben Rechnung getragen wird, als feststehend anerkannt bleiben, daß es sich in der Serie 4, 5 und 6 um ein durchaus rezentes Bodenprofil handelt, während die Serie 1, 2 und 3 allem Anschein nach als ein älteres Spaltenausfüllungsmaterial in Frage kommt.

Es treten daher am Fundort Schaltberg, d. h. an ein und derselben Lokalität, und zwar in unmittelbarer Nachbarschaft, Bodenbildungsformen auf, die sicherlich nicht ganz gleichen Alters sind, und dennoch haben die chemischen Untersuchungen die Ähnlich- oder Gleichartigkeit von zwei als Roterdebildungen anzusprechende Bodenbildungsprodukte ergeben, die ihrem Alter nach, wie gesagt, nicht gleichartig sind. Um hier eine Erklärung zu finden, sei nochmals darauf hingewiesen, daß das Vorkommen der ersten vier zusammengehörenden Proben in der Probe 1 einen gelb gefärbten, ungeschichteten Lehm, durchsetzt mit Kalkkonkretionen und Knochenresten enthält, der an seiner Oberkante in Probe 2 zu einem rotbraunen, fetten Lehm übergeht und zu oberst einen humosen, mehr krümelig ausgebildeten Horizont (Probe 3) führt. Im Vorkommen der zweiten Probenserie tritt uns die Entwicklung eines rezenten Kalksteinverwitterungsprofils in Gestalt einer Rendzina (5) mit unterlagerndem Bodenhorizont (4) entgegen, und Probe 2 des ersten Vorkommens sowie Probe 5 des zweiten Vor-

kommens lassen sich ihrer stofflichen Natur nach als Roterden erkennen.

Sieht man sich nun aber den in beiden Fällen zur Roterdewerdung führenden Vorgang an, so macht sich doch immerhin ein gewisser Unterschied bemerkbar. Im Falle der Ausbildung der Probe 2, d. h. des rotbraunen Spaltenlehms, dürfte es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um ein Einschwemmungsprodukt, genau so wie bei dem unterlagernden gelben Lehm, gehandelt haben, wenn nicht anzunehmen ist, was ebenso sehr im Bereich der Möglichkeit liegt, der rotbraune Lehm sei durch Zufuhr von Eisenoxyd, herstammend aus dem humosen Horizont 3, hervorgegangen, so daß er sich dann als ein Umwandlungsprodukt des gelben Lehms in Gestalt einer Illuvialhorizontbildung deuten ließe. Die analytischen Befunde lassen eine solche Erklärungsmöglichkeit auch bis zu einem gewissen Grade, wie es die Daten der Salzsäureauszüge der Proben 3 und 2 z. T. nahelegen, zu, und auch in den Befunden der Gesamtanalysen beider Proben liegen Andeutungen dafür vor. Zwar rechtfertigt sich auch für die Bildungsbedingungen der Probe 4 dessen Illuvialhorizontnatur, denn auf Grund des Ausfalls des Gesamtgehaltes an Kieselsäure, an Sesquioxiden und Hydratwasser gegenüber der Probe 5, d. h. der Rendzina, wäre solches sehr wohl als möglich zuzugeben, wenn auch wiederum nicht gerade der Ausfall der Salzsäureauszüge dafür spricht. Jedoch muß man andererseits auch wohl berücksichtigen, daß gerade im Fall der Roterdebildung auf Kalk dem salzsäurelöslichen Anteil aus gewissen Gründen keine allzu entscheidende Rolle in dieser Beziehung zugebilligt werden kann. Des weiteren spricht die äußere Beschaffenheit des rotbraunen Lehms gegen seine Natur als eigentliche Terra rossa, denn dieser Lehm zerfällt beim Austrocknen in scharfkantige Bruchstücke und unterscheidet sich daher von diesem, eine mehr lockere und krümelige Beschaffenheit aufweisenden Bodentyp ebenso sehr, wie durch seine Lagerungsverhältnisse. Allerdings geht auch der vorliegende rotbraune Lehm, wie schon erwähnt wurde, in einen feinkrümeligen Boden über. Ganz klar liegen infolgedessen hier die Verhältnisse nicht, um ein zufriedenstellendes Urteil zu erlauben. Nach Sachlage der vorliegenden Befunde einerseits, sowie des Auftretens und der Beschaffenheit der Proben andererseits, scheint es aber nicht unwahrscheinlich zu sein, daß infolge des unmittelbaren Durch- und Nebeneinanderliegens der Proben auf kleinem, beschränktem Raum als Spaltenausfüllungsmassen eine scharfe Probeentnahme doch nicht hat herbeigeführt werden können, die eine unerläßliche Vorbedingung für die Beantwortung der aufgeworfenen Fragen ist. Dies ist um so bedauerlicher, eingestehen zu müssen, als wir gerade seinerzeit bei der Besichtigung des vorliegenden Schaltbergprofils und seiner Probeentnahme glaubten, einen ganz besonders glücklichen Griff gemacht

zu haben, der erhoffen ließ, weitgehende Klärung in der Terra rossa-Frage herbeizuführen. Die oben wiedergegebenen Ausführungen über die mutmaßlichen Entstehungsbedingungen der im Schaltbergprofil aufgesammelten Verwitterungsprodukte und Bodenproben können daher gewissermaßen nur als Andeutungen einer möglicherweise in Frage kommenden Deutung des Zustandekommens der sich auf dem Weißjura findenden Bodenbildungen angesehen werden, die aber einer Enträtselung noch nicht ganz haben zugeführt werden können.

Zwei weitere, kleinere Aufschlüsse, nämlich was besonders die Anzahl der entnommenen Proben anbelangt, reihen sich dem Vorkommen von Schaltberg an, wenngleich sie auch räumlich ziemlich entfernt von einander auftreten. Der zuerst zu behandelnde liegt etwa 10 km ostwärts von Urach, östlich von der Ortschaft Zainingen, der zweite Aufschluß dagegen 14 km Luftlinie nordöstlich entfernt von Sigmaringen bei Inneringen. Beide Vorkommen entsprechen sich insofern, als sie dem Weißjura ε angehören, der in ihrer Nähe von tertiären Auflagerungen der Juranagelfluh m_3 bedeckt wird. Sie geben wiederum einen Einblick in die Verhältnisse der Zusammensetzung der Spaltenlehmausfüllungsmassen und der Rendzina.

Entnommen und untersucht wurden aus dem Aufschluß von Zainingen folgende Proben:

Probe 1. Ein im frischen Zustande weißgrauer, sehr dichter Kalkstein mit rötlichem Anflug und von muscheligen Bruch. An der Oberfläche der sich in den Spalten auffindenden Bruchstücke ist der Kalkstein durch die ihn umgebende Spaltenausfüllungsmasse rötlichbraun angefärbt.

Probe 2. Umgebildeter, stark toniger, bolusartiger Spaltenlehm von hellbrauner Farbe mit rötlichem Stich. Einzelne Partien seiner Masse erweisen sich noch dicht und fest und haben muscheligen Bruch, oder sie sind sonst krümelig-porös und konglomeratähnlich ausgebildet. Er enthält keine Wurzelmassen und nur wenig nicht gerundete Kalksteinbruchstücke, von denen die kleineren meist recht weich sind. Auch sekundäre Kalkausscheidungen in schaliger oder auch weicher, schwammiger Ausbildung sind vorhanden. Er läßt eine sehr geringe Menge, d. h. etwa $\frac{1}{4}\%$ Bohnerze in Gestalt mittelgroßer Körner sowie unregelmäßiger Bruchstücke erkennen. Sein Schlämmrückstand ist sandig, er besteht aus Quarz, Bergkristall und Kalkstein, z. T. von einer dunkelrotbraunen Masse überzogen, sein restlicher, feinsten Anteil, setzt sich vorwiegend aus kleinen Bohnerzkügelchen zusammen.

Probe 3. Rendzina, gekrümelt und lehmig, meist feinpulverig ausgebildet. Sie ist stark durchwurzelt, führt reichlich Kalkbruchstücke mit gebleichter, kreideartig aussehender, angegriffener, aber nur wenig geglätteter Rinde, Ihr Schlämmrückstand ist ziemlich groß, er besteht aus dunkel gefärbtem, verkrustetem, mit Humus überzogenem Feinsand und aus wenigen Kalkbruchstücken.

Die chemische Analyse und die sich daran anschließenden Umrechnungen führten zu nachstehend mitgeteilten Befunden:

Gesamtanalysen.

				Umgerechnet auf von Wasser und von organ. Substanz be- freite Masse		
	Kalk- gestein	hellbrauner, etwas rötlich angefärbter Spaltenlehm	Rend- zina	Kalk- gestein	hellbrauner, etwas rötlich angefärbter Spaltenlehm	Rend- zina
	I %	2 %	3 %	I %	2 %	3 %
SiO ₂	0,196	50,76	55,39	0,20	51,73	58,79
TiO ₂	0,004	1,80	1,28	Sp.	1,83	1,36
Al ₂ O ₃	0,059	14,29	11,35	0,06	14,56	12,05
Fe ₂ O ₃	0,086	15,84	9,88	0,09	16,14	10,49
FeO	—	0,09	0,09	—	0,09	0,10
MnO	—	0,30	0,60	—	0,31	0,64
CaO	0,002	2,07	1,98	—	2,11	2,10
MgO	0,003	0,71	0,99	—	0,72	1,05
K ₂ O	0,047	1,23	1,54	0,05	1,25	1,63
Na ₂ O	0,021	0,40	0,68	0,02	0,41	0,72
P ₂ O ₅	0,040	0,40	0,46	0,04	0,41	0,49
SO ₃	0,005	0,10	0,22	0,01	0,10	0,23
CaCO ₃	98,690	1,93	1,71	98,69	1,97	1,82
MgCO ₃	0,770	—	—	0,77	—	—
org. Substanz . .	—	0,18	4,45	—	—	—
Hydr. H ₂ O . . .	0,027	8,21	8,04	0,03	8,37	8,53
Feuchtigkeit . .	0,030	1,80	1,34	—	—	—
Summe	99,980	100,11	100,00	99,96	100,00	100,00

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	I %	2 %	3 %
SiO ₂	40,00	52,77	59,88
TiO ₂	0,82	1,87	1,38
Al ₂ O ₃	12,04	14,85	12,27
Fe ₂ O ₃	17,55	16,47	10,68
FeO	—	0,09	0,10
MnO	—	0,31	0,65
CaO	0,41	2,15	2,14
MgO	0,61	0,74	1,07
K ₂ O	9,59	1,28	1,66
Na ₂ O	4,29	0,42	0,74
P ₂ O ₅	8,15	0,42	0,50
SO ₃	1,02	0,10	0,24
Hydr. H ₂ O . . .	5,51	8,53	8,69
Summe	100,00	100,00	100,00

Zusammensetzung

	des in HCl unlöslichen Rückstandes			des karbonat- und glühverlustfrei berechneten HCl-löslichen Anteils		
	1 %	2 %	3 %	1 %	2 %	3 %
SiO ₂	66,93	62,10	71,73	24,00	1,41	0,82
TiO ₂	1,18	2,21	1,66	0,75	—	—
Al ₂ O ₃	22,85	15,40	12,30	5,24	26,87	25,51
Fe ₂ O ₃	3,21	15,63	8,34	29,95	49,84	48,43
MnO	—	0,23	0,54	—	1,72	2,46
CaO	1,15	1,46	1,16	—	13,75	14,73
MgO	1,48	0,66	0,96	—	2,65	3,41
K ₂ O	3,00	1,42	1,89	15,35	1,10	1,09
Na ₂ O	0,18	0,44	0,83	7,86	0,62	0,55
P ₂ O ₅	—	0,38	0,45	15,00	1,41	1,50
SO ₃	—	0,07	0,14	1,87	0,62	1,50
Summe	99,98	100,00	100,00	100,02	99,99	100,00

Von dem Aufschluß bei Inneringen wurden nur zwei Proben herangezogen:

Probe 1. Rötlichbraun bis fuchsig gefärbter Spaltenlehm, feinkrümelig, nicht bolusartig, mit feinverteiltem Kalk schwach durchwurzelt und mäßig viele, wenig angewitterte Kalkbruchstücke und ganz selten Bohnerz enthaltend. Der feinerdige Anteil ist krümelig ausgebildet und von sandig-lehmiger Beschaffenheit, seine Färbung ist etwas heller als die der Gesamtprobe. Aufgeschlämmt hinterläßt die Feinerde einen verhältnismäßig großen Rückstand, der aus Kalkbruchstückchen, dunkelschwarzrotbraunen Bohnerzteilen und ganz kleinen Bohnerzen besteht. Letztere sind gerundet, glatt und fettglänzend. Außerdem sind einige weiß gefärbte, sehr kleine Quarzsandteilchen zu-gegen.

Probe 2. Typisch aussehende Rendzinabildung, jedoch kaum kalkführend, von dunkelrotbrauner Färbung und krümeliger Beschaffenheit. Organische Beimischungen sind reichlich, jedoch Bohnerze nur gering vorhanden. Der Feinerdeanteil ist wiederum etwas heller gefärbt, enthält gleichfalls kaum Kalk und ist krümelig, lehmig-sandig, aber doch bedeutend toniger denn Probe 1. Abgeschlämmt hinterläßt die Feinerde nur einen sehr geringen, sandigen Rückstand von eckigem, weiß und gelblich gefärbtem Quarzsand, etwas kleinen und kleinsten Bohnerzfragmenten und Bohnerzkügelchen (vgl. Analysen auf S. 241 und 242).

Im Falle des Fundortes Zainingen läßt der Ausfall der Bauschanalysen zwar wohl hinsichtlich des Spaltenlehms auf die Möglichkeit

Gesamtanalysen.

			Frei von Wasser und von organischer Sub- stanz berechnet		Desgleichen und karbonatfrei be- rechnet	
			Roter, krümeliger Spaltenlehm	Rend- zina	Roter, krümeliger Spaltenlehm	Rend- zina
	I	2	I	2	I	2
	%	%	%	%	%	%
SiO ₂ . . .	48,30	59,40	49,15	61,17	53,89	61,31
TiO ₂ . . .	0,58	0,49	0,59	0,50	0,65	0,51
Al ₂ O ₃ . . .	15,88	14,89	16,16	15,33	17,72	15,37
Fe ₂ O ₃ . . .	9,27	8,73	9,43	8,99	10,34	9,01
FeO . . .	0,23	0,11	0,23	0,11	0,26	0,11
MnO . . .	0,21	0,29	0,21	0,30	0,23	0,30
CaO . . .	3,62	1,27	3,68	1,31	4,04	1,31
MgO . . .	1,19	1,46	1,21	1,50	1,33	1,51
K ₂ O . . .	0,98	1,35	1,00	1,39	1,09	1,39
Na ₂ O . . .	0,22	0,56	0,22	0,58	0,25	0,58
P ₂ O ₅ . . .	0,26	0,31	0,26	0,32	0,29	0,32
SO ₃ . . .	0,22	0,23	0,22	0,24	0,25	0,24
CaCO ₃ . . .	8,66	0,23	8,81	0,24	—	—
org. Subst.	0,35	2,01	—	—	—	—
Hydr. H ₂ O	8,66	7,79	8,81	8,02	9,66	8,04
Feuchtigkeit	1,48	1,46	—	—	—	—
Summe . .	100,11	100,58	99,98	100,00	100,00	100,00

seiner Natur als Illuvialhorizont schließen, nicht aber geht solches aus der Zusammensetzung des salzsäurelöslichen Anteils hervor, da sich dieser beim Spaltenlehm und bei der Rendzina als nahezu ganz gleich zu erkennen gibt. Auch der unlösliche Rückstand weist auf die Verschiedenheit beider Bildungen hin, so daß eine Degradierung des Spaltenlehms hier wohl nahe liegen könnte. Das Kalkgestein hat demgegenüber eine wesentlich andere Zusammensetzung, und zwar sowohl in Hinsicht auf die stoffliche Natur des unlöslichen Rückstandes als auch des salzsäurelöslichen Anteils. Nur die von Karbonat befreite Substanz des Kalkgesteins sowie des Spaltenlehms haben in mancher Hinsicht Ähnlichkeit miteinander, nicht aber gilt solches für den Gehalt derselben an SiO₂, CaO, Alkalien, P₂O₅ und SO₃.

Auch bei dem Spaltenlehm des Fundortes Inneringen ist auf Grund der Bauschanalyse an die gleiche Möglichkeit seiner Beschaffenheit als Illuvialhorizontbildung zu denken, wenn auch wohl nicht in dem gleichen Grade. Auch die Zusammensetzung des salzsäurelöslichen Anteils läßt einen solchen Schluß in Hinblick auf Fe₂O₃ zu, nicht aber bezüglich der Tonerde und seiner übrigen Bestandteile. Der unlös-

Zusammensetzung

	des in HCl unlöslichen Rückstandes		des karbonat- und glühverlustfrei berechneten HCl-löslichen Anteils	
	1 %	2 %	1 %	2 %
SiO ₂	66,85	73,90	1,99	1,68
TiO ₂	0,81	0,61	—	—
Al ₂ O ₃	20,51	14,74	12,28	34,42
Fe ₂ O ₃	5,83	6,11	58,85	44,28
MnO	—	0,14	2,77	2,02
CaO	2,64	0,57	19,03	9,08
MgO	1,47	1,27	1,44	4,93
K ₂ O	1,22	1,53	1,11	1,35
Na ₂ O	0,24	0,65	0,55	0,45
P ₂ O ₅	0,19	0,26	1,44	1,12
SO ₃	0,24	0,21	0,55	0,67
Summe	100,00	99,99	100,01	100,00

liche Rückstand beider Proben ergibt sich, und zwar deutlich, als recht verschieden zusammengesetzt. Bindende Schlußfolgerungen sind infolgedessen kaum erhältlich.

Betrachtet man ferner die beiden Rendzinen, so kommt ihre relative Gleichartigkeit sowohl in der Bauschanalyse als auch im unlöslichen Rückstand zum Ausdruck, aber weniger, ja z. T. überhaupt nicht, im salzsäurelöslichen Anteil. Bezüglich der beiden Spaltenlehme fällt besonders ihre abweichende Zusammensetzung in der Anteilnahme der Sesquioxide auf, wie solches desgleichen im unlöslichen Rückstand in Erscheinung tritt. Als ganz besonders stellt sich aber der in Salzsäure lösliche Anteil heraus. Es lassen sich also in beiden Spaltenlehmen recht erhebliche Verschiedenheiten feststellen, ebeno wie solche in der äußeren Beschaffenheit derselben zutage treten, wogegen die Rendzinen, sowohl stofflich als auch ihrer Beschaffenheit nach, mehr Übereinstimmung erkennen lassen.

Wie wir schon bei der Besprechung des Schaltbergprofils Gelegenheit hatten festzustellen, gehen auch bei den meisten Vorkommnissen die in ihrer Hauptmasse gelb oder gelbbraun gefärbten, tonigen, tertiären Spaltenausfüllungen nach oben hin stellenweise in rötlich verfärbten Lehm über. Dieses widerspricht aber doch wohl der Ansicht, die gelben Tone seien durch Degradierung alter, tertiärer Terra rossa hervorgegangen. Vielmehr dürfte es als wahrscheinlicher anzunehmen sein, daß diese Tone aus Wasser, sei es an der Oberfläche oder in Klüften und Spalten abgelagert worden seien, und daß allenfalls die

Rotfärbung der oberen Schichten, die nach unten hin nie scharf durch eine Schichtfuge abgegrenzt ist, als eine Erscheinung tertiärer Bodenbildungstätigkeit aufzufassen ist. So tritt uns denn auch in dem Weißjurasteinbruch ε , etwa 1 km ostwärts von Gussenstadt, an der von Geislingen nach Heidenheim führenden Straße, und zwar auf der linken Seite derselben, dort, wo sich Straße und Eisenbahn zwischen Gussenstadt und Gerstetten kreuzen, wiederum ein derartiges Vorkommen entgegen, dem nachstehende Proben zur Untersuchung entnommen wurden:

Probe 7, im frischen Zustande völlig dichtes, gelblichweiß, etwas rosa angefärbtes Kalkgestein mit gelegentlichen Einschlüssen von Kalkspatdrusen. Auf angewitterten Bruchstücken zeigt sich das Gestein etwas körnig und mürbe und ist z. T. mit einer rötlichgelbbraunen Rinde überzogen.

Probe 1, gelbrotbräunlicher, bolusartiger Lehm, in scharfkantigen Bruchstücken vorliegend. In dieser Masse sind vielfach rot gefärbte, kleine Tonbruchstücke von nämlicher Art und Ausbildung zugegen. Auch finden sich in diesem Lehm einige kleine konkretionsartige Kalkreste von 1—3 mm Größe, öfters zerbrochene und etwas korrodierte Crinoidenstielglieder. Er entstammt dem tieferen Teil einer Spalte. Die Feinerde ist tonig-krümelig ausgebildet und von mehr gelblicher Färbung. Ausgeschlämmt hinterläßt sie einen nur recht geringen Rest von gelb und rot angefärbten, kleinsten Quarzkörnchen und Bohnerzresten.

Probe 2, dunkelroter, bolusartiger Ton mit Bohnerz. Derselbe bildet den oberen Ausfüllungsanteil des gleichen Materials. d. h. der Probe 1. Er ist krümelig und enthält Kalksplitter neben wenig Bohnerz von 1—2 mm Korngröße und kleine, rote Tonstücke von dichter Beschaffenheit und muscheligem Bruch. Sein gleichartig gefärbter Feinerdeanteil ist krümelig und tonig, er läßt sich schwer ausschlämmen und es bleiben hierbei als Restbestandteile eigentlich nur kleinere Bohnerze und Fragmente derselben zurück.

Probe 3, blutrot gefärbter, krümeliger Ton aus einer anderen Spalte entnommen, äußerlich einer typischen Terra rossa-Bildung gleichend, mit kleinen Kalk- und Bohnerzsplittern, jedoch Bohnerzkörner kaum aufweisend. Sein Feinerdeanteil zeigt sich krümelig ausgebildet, sonst aber von gleicher Färbung und Beschaffenheit. Aufgeschlämmt hinterläßt er nur wenig kleine Körner von Bohnerz und von Zerfallsprodukten derselben mit gleichfalls kleinen Kalkbruchstückchen.

Probe 4, harte, schalenförmige Gesteinsbildungen aus Probe 3. Im Innern erscheinen dieselben kleinkörnig und glitzernd, fast als eine

kristallin ausgebildet anzusehende, schwarz gefärbte, harte Gesteinsmasse, die äußerlich auf ihrer Oberfläche teils braun, teils rot angefärbt ist. Ihre qualitative Untersuchung läßt sie als ein Kalkgebilde, das nur durch sehr geringe Mengen von Mangan, ganz wenig Humus und Eisen imprägniert worden ist, erkennen. Eine quantitative Bestimmung wurde infolgedessen, da sie sich als überflüssig erwies, nicht durchgeführt. Der Schätzung nach handelt es sich in dieser Schalenmasse um eine Substanz, die mindestens bis zu 99%, oder noch mehr, aus Calciumkarbonat zusammengesetzt ist.

Probe 5, ein dunkelschwärzlich, gelblichbrauner, stark durchwurzelter, gut gekrümelter, aus recht festen Krümeln bestehender Lehm Boden, durchsetzt mit Kalkbruchstücken kleineren Ausmaßes, der als rezenter Humusboden angesprochen wurde. Er enthält auch einige, wenige, dichte, braun gefärbte Tonstücke, ähnlich den rot gefärbten der Probe 2, außerdem noch wenig Bohnerz. Seine Feinerde ist von etwas hellerer Färbung, aber sonst gleicher Beschaffenheit, sie läßt beim Abschlämmen einen geringen Rest von etwas Kalk und Quarzsand mit ganz seltenen Bohnerzkügelchen zurück.

Probe 6, rötlichbraun gefärbter, weichkrümeliger, reichlich mit Kalkbruchstücken durchsetzter, lehmig-toniger Untergrundboden der Probe 5. Bohnerz ist in unmittelbar sichtbaren Exemplaren nicht vorhanden. Auch hier ist die Feinerde wieder etwas heller als die Gesamtprobe gefärbt. Sie ist gut krümelig und von lehmig-toniger Natur. Wird sie aufgeschlämmt, so hinterläßt sie gleichfalls nur wenig, und zwar ganz feinen Kalk und Quarzsand und noch weniger Bohnerzkügelchen bzw. Erzfragmente.

Die chemische Untersuchung dieser Proben ergab nachstehende Befunde (siehe Seite 246—248):

Den Befunden der Gesamtanalysen vorliegender Proben ist zunächst zu entnehmen, daß der gelbe und der rote bolusartige Lehm aus der ersten Spaltenausfüllung sehr einander nahe stehende Substanzen sind, denn sie unterscheiden sich im großen und ganzen eigentlich nur durch ihren voneinander abweichenden Gehalt an Kieselsäure und Tonerde, welcher Unterschied sich als Folge einer relativen Verschiebung beider Bestandteile darstellt. Da es sich jedoch hierbei nicht um eine stärkere Beteiligung rein sandiger Anteile in Probe 1 handeln kann, weil hierfür weder die Beschaffenheit der Probe noch die Aufschlammung derselben Anzeichen hat erkennen lassen, so dürfte wohl nur die weit reichere Zusammensetzung des unlöslichen Silikatanteils dieser Probe an Kieselsäure hierfür in Anspruch genommen werden können, wie auch ebenso andererseits die größere Anteilnahme von Tonerde im unlöslichen Rückstand der Probe 2, zumal die Menge des unlöslichen Rückstandes in Probe 1 größer als

Gesamtanalysen.

	Gestein	gelber, bolus- artiger Lehm aus Spalte 1	roter, bolus- artiger Lehm aus Spalte 1	blutroter, toniger, krümeliger Lehm aus Spalte 2	rezenten Humus- boden	dazu- gehöriger Unter- grund- boden
	7 %	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %
SiO ₂	0,125	49,94	40,48	40,18	60,02	47,46
TiO ₂	0,004	0,69	0,79	1,19	0,66	0,48
Al ₂ O ₃	0,046	18,60	28,05	22,46	14,00	21,10
Fe ₂ O ₃	0,067	15,62	14,96	21,02	8,83	9,47
FeO	—	0,17	0,37	0,37	0,43	0,11
MnO	—	0,03	0,10	0,13	0,15	0,12
CaO	0,002	1,15	0,82	0,65	1,25	2,74
MgO	0,001	1,10	0,26	0,65	1,67	0,99
K ₂ O	0,024	1,29	0,85	0,59	1,67	1,22
Na ₂ O	0,017	0,41	0,49	0,44	0,57	0,62
P ₂ O ₅	0,024	0,23	0,35	0,24	0,20	0,25
SO ₃	0,004	0,10	0,19	0,20	0,22	0,21
CaCO ₃	98,690	0,09	1,34	0,29	0,07	4,41
MgCO ₃	0,980	—	—	—	—	—
org.						
Subst.	—	0,08	0,28	0,10	1,97	0,75
Hydr.						
H ₂ O	0,014	9,09	10,18	10,78	7,58	9,46
Feuchtig- keit	0,090	1,40	0,95	1,07	1,04	1,00
Summe	100,090	99,99	100,46	100,36	100,33	100,39

in Probe 2 ist. Die Probe 3 aus der zweiten Spalte besitzt nun unverkennbar eine gewisse Ähnlichkeit mit der Probe 2 aus der ersten Spalte, was aus der recht guten Übereinstimmung aller Analysenwerte mit Ausnahme derjenigen für die Sesquioxide hervorgeht, die jedoch nur unter sich eine relative Verschiebung erfahren haben. Sowohl Probe 2 wie Probe 3 können ihrem ganzen Habitus wie ihrer chemischen Zusammensetzung nach als recht typische Roterden gelten. Abgesehen von Probe 5, die ihre rendzinaartige Beschaffenheit unmittelbar wiedergibt, was schon der viel höhere Kieselsäuregehalt deutlich zum Ausdruck bringt, weist ihr Untergrundboden, Probe 6, nähere Beziehungen zu Probe 1 auf, was besonders beim Vergleich der karbonatfrei berechneten Analysenzahlen in Erscheinung tritt. Nur der Gehalt an Fe₂O₃ ist in der Probe 1 erheblich höher. Der Gesamtcharakter des Untergrundbodens entspricht ebenfalls einer Roterdebildung, wenn auch nicht in besonders typischer Ausbildungsart. Probe 5 zeigt demgegenüber den Charakter einer Rendzina und Probe 6 kann auf Grund

Dieselben umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	7 %	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %
SiO ₂	0,12	50,70	40,79	40,51	61,67	48,11
TiO ₂	Sp.	0,70	0,80	1,20	0,68	0,49
Al ₂ O ₃	0,05	18,88	28,27	22,64	14,39	21,39
Fe ₂ O ₃	0,07	15,86	15,08	21,19	9,07	9,60
FeO	—	0,17	0,37	0,37	0,44	0,11
MnO	—	0,03	0,10	0,13	0,15	0,12
CaO	—	1,17	0,83	0,66	1,28	2,78
MgO	—	1,12	0,26	0,66	1,72	1,00
K ₂ O	0,02	1,31	0,86	0,59	1,72	1,24
Na ₂ O	0,02	0,42	0,49	0,44	0,59	0,63
P ₂ O ₅	0,02	0,23	0,35	0,24	0,21	0,25
SO ₃	Sp.	0,10	0,19	0,20	0,23	0,21
CaCO ₃	98,69	0,09	1,35	0,29	0,07	4,47
MgCO ₃	0,98	—	—	—	—	—
Hydr. H ₂ O	0,02	9,23	10,26	10,87	7,79	9,59
Summe	99,99	100,01	100,00	99,99	100,01	99,99

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	7 %	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %
SiO ₂	38,11	50,74	41,35	40,63	61,72	50,36
TiO ₂	1,22	0,70	0,81	1,20	0,68	0,51
Al ₂ O ₃	14,02	18,90	28,65	22,71	14,40	22,39
Fe ₂ O ₃	20,43	15,87	15,28	21,25	9,08	10,05
FeO	—	0,17	0,38	0,37	0,44	0,12
MnO	—	0,03	0,10	0,13	0,15	0,13
CaO	0,61	1,17	0,84	0,66	1,29	2,91
MgO	0,30	1,12	0,27	0,66	1,72	1,05
K ₂ O	7,32	1,31	0,87	0,60	1,72	1,29
Na ₂ O	5,18	0,42	0,50	0,44	0,59	0,66
P ₂ O ₅	7,32	0,23	0,36	0,24	0,21	0,27
SO ₃	1,22	0,10	0,19	0,20	0,23	0,22
Hydr. H ₂ O	4,27	9,24	10,40	10,90	7,79	10,04
Summe	100,00	100,00	100,00	99,99	100,02	100,00

des Ausfalls ihrer Gesamtzusammensetzung zu der der Rendzina hinsichtlich ihres Gehaltes an Kieselsäure und der Sesquioxide als eine Illuvialhorizontbildung angesprochen werden, wogegen allerdings z. T. wieder, wie schon vorausnehmend angedeutet sein mag, der

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes.

	7 %	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %
SiO ₂	74,70	59,99	51,59	50,57	73,35	62,12
TiO ₂	1,00	0,81	1,01	1,45	0,81	0,63
Al ₂ O ₃	17,00	20,55	34,16	28,04	13,96	26,61
Fe ₂ O ₃	2,00	15,08	10,90	17,14	6,85	5,18
MnO	—	—	0,06	0,10	0,05	0,09
CaO	1,80	0,46	0,01	0,29	0,49	1,76
MgO	0,90	0,92	0,12	0,78	1,54	0,89
K ₂ O	2,60	1,43	1,00	0,70	1,91	1,45
Na ₂ O	0,10	0,46	0,59	0,53	0,66	0,80
P ₂ O ₅	—	0,20	0,33	0,16	0,16	0,22
SO ₃	—	0,10	0,22	0,24	0,22	0,25
Summe	100,01	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00

Salzsäurelöslicher Anteil, karbonatfrei berechnet.

	7 %	1 %	2 %	3 %	5 %	6 %
SiO ₂	19,60	1,91	1,26	1,23	1,61	1,40
TiO ₂	1,51	—	Sp.	0,45	—	—
Al ₂ O ₃	13,07	24,36	13,97	2,91	32,26	9,57
Fe ₂ O ₃	32,66	52,23	71,85	88,00	46,03	65,81
MnO	—	0,48	0,53	0,56	1,36	0,58
CaO	—	12,26	8,51	4,60	10,55	16,34
MgO	—	5,41	1,68	0,34	5,09	3,62
K ₂ O	10,55	1,59	0,74	0,45	1,36	1,28
Na ₂ O	8,54	0,48	0,31	0,34	0,37	0,23
P ₂ O ₅	12,06	1,12	0,95	1,01	0,87	0,93
SO ₃	2,01	0,16	0,20	0,11	0,50	0,23
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99

Analysenausfall ihres karbonatfrei berechneten salzsäurelöslichen Anteils Bedenken erwecken könnte. Probe 7, das Kalkgestein, weist schließlich allen anderen Proben gegenüber, wie es ihre von Wasser, organischer Substanz und Karbonat befreite Masse wiedergibt, eine so abweichende Zusammensetzung auf, daß sich demzufolge kaum eine unmittelbare Beziehung zu diesen entnehmen läßt, was wiederum deutlich zeigt, wie wenig die Ansicht berechtigt ist, der nichtkarbonatische Teil, d. h. gewissermaßen die Verunreinigungen der Kalkgesteine, sei allein für die Ausbildung der roterdigen Produkte in und auf Kalkgestein verantwortlich zu machen. Auch der salzsäureunlösliche Rückstand spricht nicht sehr dafür, denn die Zusammensetzung desselben im Gestein weist keine Übereinstimmung mit den Rückständen

der übrigen Proben auf, am ehesten trifft solches noch für Probe 5, d. h. für die rezente Rendzina zu, wenngleich auch hier bei zwar fast gleichem Sesquioxidgehalt die Anteilnahme des Eisens und der Tonerde für sich nicht gleich ist. Ebenso gibt der Ausfall des karbonatfrei berechneten salzsäurelöslichen Anteils im Kalkgestein keinen Anhalt für nähere Beziehungen zu den übrigen Proben, was allerdings auch weniger zu erwarten ist. In der Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes lassen von allen Proben die rotgefärbten Lehme noch die beste Übereinstimmung erkennen, nicht aber kann dieses auch von ihren salzsäurelöslichen Anteilen behauptet werden.

Versuchen wir auf Grund dieser Erwägungen ein Bild von den Entstehungsbedingungen vorliegender Verwitterungs- bzw. Umwandlungsprodukte zu geben, so erweist sich dieses nicht gerade einfach und kann auch wohl nur unter Heranziehung der von uns gemachten Beobachtungen an Ort und Stelle sowie der Feststellungen über die äußerliche Beschaffenheit und des Verhaltens der einzelnen Proben beim Aufschlännen geschehen, da die Kenntnis der chemischen Befunde allein hierfür nicht ausreicht. Allerdings gilt gleiches auch umgekehrt für die Auswertung ihres Auftretens und ihrer Beschaffenheit allein, wenn solches zwar auch wohl gewöhnlich bei bodenkundlichen und kartographischen Aufnahmen als genügende Grundlage angesehen wird. Auch für vorliegenden Aufschluß ist grundsätzlich festzustellen, daß vom Gesichtspunkt der stofflichen Bodenbeschaffenheit aus drei, wenn auch nicht ganz gleichartige, roterdeartige, so doch sicherlich ihrer Entstehung und z. T. auch ihrem Alter nach recht verschiedene Bildungen vorliegen.

So ist zunächst der mit geringen Bohnerzeinlagerungen durchsetzte, dunkelrot gefärbte, bolusartige Lehm oder Ton seiner Beschaffenheit und seinem Auftreten nach ein Umwandlungsprodukt, das sich aus dem unterlagernden, gelbbraunlich gefärbten, bolusartigen Lehm entwickelt hat, und auch die Befunde der chemischen Untersuchung bestätigen dies. Zu welcher Zeit die Einschwemmung dieses Materials stattgefunden hat, läßt sich zwar nicht genau festlegen, doch dürfte es wohl aller Wahrscheinlichkeit nach während der Tertiärzeit geschehen sein, so daß wir tertiäre Lehmbildungen in dieser Spaltenausfüllungsmasse vor uns haben. Der zu oberst liegende rote Ton hat aber schon mehr die Natur einer krümelig ausgebildeten Masse angenommen, wenngleich die Tendenz hierzu auch schon dem gelben Ton oder Lehm zukommt, was gleichfalls für den engen Zusammenhang beider Materialien angeführt werden kann. Um eine eigentliche Terra rossa handelt es sich aber bei diesem roten Lehm infolge seiner Ausbildungsart nicht. Anders liegt es nun aber bei dem blutrot gefärbten, durchaus krümelig beschaffenen Lehm oder Ton aus der

zweiten Spalte, der wohl Bohnerzsplitter enthält, aber Bohnerzkörner kaum führt. Hier liegt u. E. eine ihrer Natur nach wirkliche Roterde vor, was auch mit der stofflichen Zusammensetzung übereinstimmen würde, dennoch erweist sich dieses nicht als absolut notwendig, sondern sie kann gleichfalls das Umwandlungsprodukt einer tertiären Ausfüllungsmasse vorstellen, von welcher letzterer aber kein Material mehr in der Spalte vorhanden ist, sodaß hier eine gänzliche Umwandlung des gelben, primären Spaltenlehms Platz gegriffen haben könnte. Ihr höherer Gehalt an Eisen, der sie in stofflicher Hinsicht gegenüber dem roten Lehm der ersten Spalte auszeichnet, ist sehr wahrscheinlicherweise als Folge einer Eisenzufuhr und Eisenausscheidung, und zwar letztere bedingt durch kalkhaltige Wässer, anzusehen, wofür auch die Gegenwart der sekundär entstandenen, schalenförmigen Kalkgebilde spricht. Andererseits wäre es aber auch, wie schon oben einmal betont, durchaus denkbar, daß der rote, krümelig ausgebildete Lehm tatsächlich einer Terra rossa entspricht, von der dann allerdings wohl anzunehmen sein dürfte, in derselben eine solche fossiler Art, d. h. tertiären Alters, zu erblicken. Dem Untergrundboden der zweifellos rezenten Rendzina auf dem Kalkgestein kommt gleichfalls die Beschaffenheit einer, wenn auch gerade nicht sehr typischen Roterde zu, ob sie aber als Illuvialhorizontbildung der überlagernden Rendzina zu gelten hat, kann auch fraglich erscheinen. Sie stellt sich aber sicherlich als eine jüngere Roterdebildung ohne nennenswerte Bohnerzbeteiligung dar, aus welcher sich die überlagernde Rendzina nachträglich gleichfalls entwickelt haben könnte. Infolge der sich auch hier wieder ergebenden Möglichkeit einer sehr verschieden ausfallenden Deutungsweise kann u. E. erst eine gemeinsame Gegenüberstellung und Betrachtung aller Roterdevorkommnisse auf und im Weißjurakalk vorliegender Untersuchungen, wie sie am Schluß dieses Beitrages gegeben werden soll, beurteilen lassen, wieweit obige Schlußfolgerungen aufrecht erhalten werden können. Damit wenden wir uns anschließend noch den weiteren Aufschlüssen zu.

Einen guten Einblick in die Tertiärablagerungen der Alb gewähren die großen Steinbrüche am Nordrand des Blautales oberhalb von Ulm. Von diesen wurde der große Steinbruch am Ostrande von Ehrenstein, nicht weit entfernt unterhalb des geologisch so interessanten oberen Esekberges, im Weißjura näher untersucht. Es finden sich auch hier wieder rezente und tertiäre Bildungen neben einander, die im großen und ganzen mit denen von Genkingen, d. h. dem Schaltbergprofil, Ähnlichkeit haben, wenn nicht vielleicht sogar übereinstimmen. Als tertiär erweist sich ein unmittelbar auf dem Kalk liegender grauer Ton, dann, soweit sich die Bildungen in tiefen Höhlungen und Spalten ungestört erhalten haben, ein reiner, bohnerzfreier, gelbbraun gefärbter

Ton, vergleichbar mit dem des Hauptprofils von Liptingen, darunter folgen gemengte Ablagerungen des gelbbraunen Tons mit nicht sehr reichlichen Bohnerzen. Dagegen rezent ist eine schwarz gefärbte Rendzina, die, wenn Tertiär unterlagert, stellenweise anscheinend als Ausbildung eines Illuvialhorizontes gedeutet werden kann. Das ganze Profil ist nur in allerdings z. T. weiten Spalten ausgebildet.

Nachstehende Proben wurden entnommen und der Untersuchung zugeführt:

Probe 6. Im frischen Zustande weißer, sehr dichter Kalkstein, der auf Bruchstücken an der Oberfläche teilweise etwas gelblich überzogen ist.

Probe 1. Schwärzlich-dunkelbraun gefärbter, krumeliger und wohl infolge der Beimengung von feinkörnigem Kalksteinmaterial etwas sandig erscheinender Lehm von rendzinaartiger Beschaffenheit. Er ist durchsetzt mit reichlichen Kalkbruchstücken von mittlerer Größe, die mit dem anhaftenden Bodenmaterial überzogen und stark angegriffen sind. Er enthält etwa 1% seiner Masse Bohnerz in abgerolltem und etwas angegriffenem Zustande, ebenso auch Bruchstücke derselben. Seine Feinerde ist krümelig und etwas heller als die Gesamtprobe gefärbt, wird sie abgeschlämmt, so gibt sie einen ziemlichen Rest von braunem feinen Sand mit einzelnen, etwas größeren Quarz- und Kalkbruchstückchen nebst Bohnerzkügelchen bzw. Bruchstückchen von solchen.

Probe 2. Feinkrümeliger, lehmig-toniger Bodenhorizont im Bohnerzlehm unter der rezenten Rendzina (1) von gelbbrauner, etwas rostiger Färbung. Er ist gleichfalls stark von angewitterten Kalkbruchstücken durchsetzt und enthält etwa 10% gelbbraunlich aussehende, oberflächlich rauh ausgebildete Bohnerzgebilde in Kugelform, die im Innern zumeist durchwittert und gelbbraun erscheinen. Manche derselben sind innen rot gefärbt und dann von fester, harter Beschaffenheit. Außerdem sind Zerstörungsprodukte derselben zugegen. Die zugehörige Feinerde hinterläßt nach dem Auf- und Abschlämmen einen nur geringen Rest, bestehend aus reichlichen, kleinen, weißen Kalkstückchen, und nach Auflösung dieser in Salzsäure, nur noch vorwiegend rotbraun und schwarz gefärbte Bohnerze nebst ganz wenig feinem Quarzsand.

Probe 3. Hellgrauweißer, bolusartiger, fetter Ton, der im trockenen Zustande kaum Tonbruchstücke bildet. Er führt geringe Verunreinigungen von dem Material der Probe 4 sowie weiße Partien aus sandig zersetztem Kalk und Kalkbruchstückchen. Die analysierte Probe besteht zumindest aus 90% des grauweißen Materials. Der Ton selbst ist karbonatfrei, etwas vorhandener kohlensaurer Kalk hat als Verun-

reinigung zu gelten. Die Feinerde der Probe setzt sich aus weißgelblichen, eckig krümeligen Tonteilchen zusammen, abgeschlämmt hinterläßt sie nur einen ganz geringen Rest von Kalk- und Quarzsand nebst Bohnerzfragmenten.

Probe 4. Hellgelber, bolusartiger, in Bruchstücken vorliegender Ton mit etwa $\frac{1}{2}\%$ Bohnerz im gerundeten Zustande und gelb überzogen. Auch die Feinerde setzt sich aus Tonbruchstückchen zusammen. Der abgeschlämnte Ton hinterläßt nur einen sehr geringen Rest von Bohnerz und Fragmenten desselben, etwas Kalkstückchen und Quarzsand.

Probe 5. Bohnerzlehm mit reichlichen Bohnerzkugeln, vermutlich ein Umlagerungsprodukt der Probe 4 mit zugemischtem Bohnerz. Der Lehm ist von etwas dunklerer Farbe als Probe 4 und liegt in Brocken und Aggregaten krümeliger Ausbildung vor. Die Bohnerzanteilmasse beträgt rund 11% der Gesamtmasse. Größere Kalkbruchstücke sind gleichfalls zugegen, sie sind z. T. mit einer eisenschüssigen Rinde von etwa $1\frac{1}{2}$ mm Stärke bedeckt. Die Bohnerze sind klein bis mittelgroß und liegen im üblichen Zustande vor, nur wenige derselben sind zerbrochen. Der Feinerdeanteil ist von hellerer Färbung als die Gesamtprobe. Sein Abschlammrückstand erweist sich etwas größer als zumeist. Er besteht außer Kalkstückchen aus fast ausschließlich kleinen Bohnerzkügelchen und Fragmenten derselben sowie aus ganz wenigen Quarzkörnern.

Wie die Bauschanalysenwerte lehren (vgl. die Tabellen auf S. 253 und 554), sind die Proben 4 und 5 fast ein und dieselbe Substanz. Der gelbbraune, bolusartige Ton scheint demnach mit dem braunen Boluslehm identisch zu sein. Dies geht ebenso aus der nahezu gleichen Zusammensetzung des salzsäureunlöslichen Rückstandes (vgl. Tabelle S. 255) beider Proben hervor. Nur in ihrem karbonatfrei berechneten salzsäurelöslichen Anteil (siehe Tabelle S. 255) weichen beide Proben, insbesondere im Gehalt an Al_2O_3 , Fe_2O_3 und MgO , eigentümlicherweise voneinander ab, insofern sich das Eisen und die Magnesia im gelbbraunen, bolusartigen Ton erheblich löslicher erweisen und umgekehrt sich demgegenüber die Tonerde im Bohnerzlehm weit beträchtlicher löslich zeigt. Eine Erklärung hierfür zu erbringen, stößt zwar bei näherem Eingehen auf diese Frage auf große Schwierigkeiten. Der graue, bolusartige Ton steht nicht allzu entfernt von der Probe 4, er ist ein nur wenig Eisen führender Ton und sein Unterschied von Probe 4 beruht lediglich auf relativ verschiedener Anteilnahme der Kieselsäure, der Sesquioxide und des zugehörigen Hydratwassers. Jedoch auch Probe 3 und Probe 2 lassen ebenfalls gute Übereinstimmung in ihrer Zusammensetzung erkennen, denn eine größere Verschiedenheit liegt nur in der relativen Verschiebung des Sesquioxid-

Gesamtanalysen.

	Kalk- gestein	schwarz gefärbte Rendzina	fein- krümeliger, terra rossa- artiger Horizont	grauer, bolus- artiger Ton	gelb- brauner, bolus- artiger Ton	brauner Bohnerz- lehm
	6 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
SiO ₂	0,067	57,26	38,66	43,42	42,12	40,50
TiO ₂	0,003	0,56	0,66	1,06	0,72	1,00
Al ₂ O ₃	0,051	13,63	18,44	29,55	25,74	26,04
Fe ₂ O ₃	0,015	9,66	12,49	3,76	15,52	15,53
FeO	—	—	0,26	0,07	0,11	0,11
MnO	—	0,14	0,10	0,04	0,08	0,14
CaO	0,005	1,58	—	0,96	0,93	1,61
MgO	0,001	0,54	—	0,31	0,48	0,57
K ₂ O	0,039	1,00	0,54	0,49	0,33	0,43
Na ₂ O	0,015	0,69	0,47	0,82	0,62	0,61
P ₂ O ₅	0,015	0,28	0,20	0,12	0,22	0,20
SO ₃	0,005	0,18	0,20	0,18	0,19	0,17
CaCO ₃	99,140	1,05	13,57	4,21	0,34	1,66
MgCO ₃	0,360	—	0,84	—	—	—
org.						
Subst.	—	3,05	0,80	—	—	0,06
Hydr.						
H ₂ O	0,009	9,74	11,47	13,47	11,09	10,43
Feuchtig- keit	0,050	1,01	1,03	1,95	1,58	1,22
CO ₂	—	—	0,41	—	—	—
Summe	99,780	100,37	100,14	100,41	100,07	100,28

gehaltes vor, so daß schließlich letzten Endes alle 4 Proben vom terra rossa-artigen Horizont bis zum Bohnerzlehm in ihrer Gesamtzusammensetzung gemeinsame Züge nicht verkennen lassen, wenn gleich auch solches nicht so sehr im Aufbau des unlöslichen Rückstandes und besonders im karbonatfrei berechneten salzsäurelöslichen Anteil zum Ausdruck kommt. Ganz abweichend verhält sich aber auch in diesem Profil wieder die Probe 1, nämlich die Rendzina. Dies tritt sowohl in ihrer Bauschanalyse, in der Zusammensetzung ihres unlöslichen Rückstandes sowie auch des salzsäurelöslichen Anteils in Erscheinung, und es fragt sich daher nur noch, ob nicht, wenn auch andere, Beziehungen zwischen der Rendzina und dem entsprechenden, feinkrümeligen, terra rossa-artigen Horizont feststellbar sind. Nach dem Ausfall der diesbezüglichen Gesamtanalysen zu schließen, könnte solches hinsichtlich der Gehalte an den Sesquioxiden zutreffen, indem der terra rossa-artige Horizont als Illuvialhorizont der Rendzina anzu-

Dieselben umgerechnet auf von Feuchtigkeit und von organischer Substanz befreite Masse.

	6 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
SiO ₂	0,07	59,45	39,32	44,10	42,77	40,91
TiO ₂	Sp.	0,58	0,67	1,08	0,73	1,01
Al ₂ O ₃	0,05	14,15	18,76	30,01	26,13	26,30
Fe ₂ O ₃	0,02	10,03	12,70	3,82	15,76	15,69
FeO	—	—	0,26	0,07	0,11	0,11
MnO	—	0,15	0,10	0,04	0,08	0,14
CaO	0,01	1,64	—	0,98	0,94	1,63
MgO	—	0,56	—	0,31	0,49	0,58
K ₂ O	0,04	1,04	0,55	0,50	0,34	0,43
Na ₂ O	0,02	0,72	0,48	0,83	0,63	0,62
P ₂ O ₅	0,02	0,29	0,20	0,12	0,22	0,20
SO ₃	0,01	0,19	0,20	0,18	0,19	0,17
CaCO ₃	99,40	1,09	13,80	4,28	0,35	1,68
MgCO ₃	0,36	—	0,85	—	—	—
Hydr. H ₂ O	0,01	10,11	11,67	13,68	11,26	10,54
CO ₂	—	—	0,42	—	—	—
Summe	100,01	100,00	99,98	100,00	100,00	100,01

Desgleichen und karbonatfrei berechnet.

	6 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
SiO ₂	29,85	60,11	46,30	46,07	42,91	41,61
TiO ₂	1,33	0,59	0,79	1,12	0,73	1,03
Al ₂ O ₃	22,66	14,31	22,09	31,35	26,23	26,75
Fe ₂ O ₃	6,66	10,14	14,96	3,99	15,81	15,95
FeO	—	—	0,31	0,07	0,11	0,11
MnO	—	0,15	0,12	0,04	0,08	0,14
CaO	2,22	1,66	—	1,02	0,95	1,65
MgO	0,43	0,57	—	0,33	0,49	0,59
K ₂ O	17,32	1,05	0,65	0,52	0,34	0,44
Na ₂ O	6,66	0,72	0,56	0,87	0,63	0,63
P ₂ O ₅	6,66	0,29	0,24	0,13	0,22	0,21
SO ₃	2,22	0,19	0,24	0,19	0,19	0,17
Hydr. H ₂ O	4,00	10,22	13,74	14,29	11,30	10,72
Summe	100,01	100,00	100,00	99,99	99,99	100,00

sprechen wäre, jedoch unlöslicher Rückstand und salzsäurelöslicher Anteil sprechen nicht gerade, oder doch nur z. T. dafür. Schließlich wäre auch noch aus der Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes

Analyse des in Salzsäure unlöslichen Rückstandes¹⁾.

	6 %	1 %	2 %	4 %	5 %
SiO ₂	66,15	74,03	56,97	51,67	51,31
TiO ₂	1,75	0,73	0,98	0,89	1,27
Al ₂ O ₃	17,28	14,47	25,97	30,70	28,70
Fe ₂ O ₃	7,78	7,57	9,41	14,32	15,50
MnO	—	0,06	0,06	0,07	0,11
CaO	7,20	0,36	4,82	0,37	0,85
MgO	0,82	0,36	0,06	0,44	0,64
K ₂ O	3,70	1,18	0,65	0,38	0,51
Na ₂ O	0,31	0,84	0,62	0,73	0,72
P ₂ O ₅	—	0,29	0,22	0,21	0,19
SO ₃	—	0,10	0,24	0,22	0,20
Summe	99,99	99,99	100,00	100,00	100,00

Salzsäurelöslicher Anteil, karbonatfrei berechnet¹⁾.

	6 %	1 %	2 %	4 %	5 %
SiO ₂	15,89	2,02	1,70	1,74	1,34
TiO ₂	1,32	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	26,49	29,40	7,36	13,41	42,07
Fe ₂ O ₃	8,61	45,48	52,02	69,51	42,07
MnO	—	1,07	0,49	0,35	0,61
CaO	—	15,48	35,19	10,98	11,46
MgO	—	3,10	1,29	2,09	0,85
K ₂ O	24,50	1,07	0,81	0,35	0,37
Na ₂ O	9,93	0,48	0,40	0,52	0,49
P ₂ O ₅	9,93	0,71	0,40	0,87	0,61
SO ₃	3,31	1,19	0,32	0,17	0,12
Summe	99,98	100,00	99,98	99,99	99,99

des Kalksteins zu entnehmen, daß derselbe keine Übereinstimmung mit den analogen Rückständen der tertiären Tone und Lehme der Spaltenausfüllungen aufweist, wohl aber am ehesten nur noch in dieser Beziehung mit der Rendzina vergleichbar erscheint. Ein sehr befriedigendes Bild ergibt sich also letzten Endes auch hier wieder aus diesen Profilbefunden nicht. Der äußeren Beschaffenheit der Proben nach zu urteilen, ist aber daran festzuhalten, daß rendzina- und terra rossa-artiger Horizont zueinander gehören und sicherlich jüngere Bildungen, als die oolusartigen Tone und auch der Bohnerzlehm sind, welche letztere als

¹⁾ Von der Angabe der diesbezüglichen Zusammensetzung der Probe 3 mußte hier abgesehen werden, da zwecks Zeitersparnis die dementsprechende, hier unnötig erscheinende Untersuchung nicht durchgeführt wurde.

tertiäre Spaltenausfüllungsmassen in Frage kommen und einander durchaus nahe stehen. Immerhin bestehen aber, wie schon dargelegt, auch noch nähere Beziehungen stofflicher Art zwischen dem terra rossa-artigen Horizont und den toniglehmigen Spaltenausfüllungsmassen.

Der nun noch zuletzt zu erörternde Aufschluß im Gebiet der Ulmer Alb, etwa 9 km nördlich von Ulm entfernt, liegt schon im Bereich der Albüberdeckung, aus welcher anstehende Partien des Weißjura ϵ und ζ herausragen, und die dort auftretenden Bildungen nehmen einen mehr sandigen Charakter an. Die genommenen Proben entstammen einem Steinbruch am Agenberg ($w\epsilon$), unweit von Beimerstetten, auf der linken, d. h. nördlichen Seite an der von Beimerstetten nach Hörvelsing führenden Straße. In Probe 1 liegt eine mit Kieseln und fast schon Schottern durchsetzte, sandige Spaltenausfüllungsmasse vor, während Probe 2 einen tertiären, gelbgefärbten Lehm darstellt. Die nähere Beschaffenheit beider Proben geht aus nachstehend mitgeteilten Feststellungen hervor.

Probe 1. Gelbbräunlich gefärbter, krümeliger, lehmiger Sand bis Schotter, dessen sandige Anteile z. T. zu einer allerdings noch recht lockeren, sandsteinartigen Masse verkittet sind. Außerdem finden sich reichlich Quarz- und Quarzitgerölle bis zu Haselnußgröße vor. Auch eckige Tongerölle bzw. Tonbruchstücke von gleicher Größe und brauner Farbe, die sich im frischen Zustande der Probe z. T. rötlich angefärbt zeigten, sind reichlich zugegen. Die aufgeschlammte Feinerde dieser Spaltenausfüllungsmasse besteht zur Hauptsache aus weißem und gelbem abgerollten Quarzsand, nur wenigem Lehm und ebenso auch wenigen, sehr kleinen Bohnerzkrörnern und Fragmenten derselben. Es handelt sich hier wohl nur um eine tertiäre Spalteneinschlammungsmasse.

Probe 2. Gelber, bolusartiger Lehm in kantigen mit glatten Flächen versehenen Bruchstücken mit Manganausscheidungen, die zu mehr oder weniger kantig ausgebildeten Krümeln und kleineren Bruchstücken zerfallen sind. In diesem Lehm sind reichlich über 2 mm große, drusig ausgebildete Kalkkonkretionen enthalten. Sie lösen sich leicht in Salzsäure unter Hinterlassung von etwas hellgelbbraun gefärbtem Ton und noch weniger ganz feinem, winzigem, rötlichgelb überzogenem Gemisch von Quarzsand und Bohnerzfragmenten auf. Der Feinerdeanteil besteht fast ausschließlich aus gelbem Ton, der sich nur schwierig zerteilen und abschlämmen läßt und der nur sehr geringe, nicht-tonige Bestandteile führt. Der beim Aufschlämmen zuletzt gewonnene Rückstandsrest setzt sich aus feinem weißen Quarzsand, etwas Kalk und aus reichlichen Bohnerzfragmenten zusammen.

Beide Proben zeigen ihrer äußeren Beschaffenheit nach deutlich die Natur sedimentärer Einschwemmungen. Ihre chemische Analyse ergab nachstehende Resultate:

Gesamtanalysen.

			Wasser- und humusfrei berechnet		Desgleichen und karbonatfrei berechnet	
	Sandige Spalten- ausfüllung	Gelber Lehm	Sandige Spalten- ausfüllung	Gelber Lehm	Sandige Spalten- ausfüllung	Gelber Lehm
	I %	2 %	I %	2 %	I %	2 %
SiO ₂ . . .	80,16	50,68	80,02	51,25	80,49	51,45
TiO ₂ . . .	0,25	0,61	0,25	0,62	0,25	0,62
Al ₂ O ₃ . . .	6,58	17,83	6,57	18,03	6,61	18,10
Fe ₂ O ₃ . . .	5,76	15,61	5,75	15,79	5,78	15,85
FeO . . .	0,06	0,11	0,06	0,11	0,06	0,11
MnO . . .	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
CaO . . .	1,09	1,65	1,09	1,67	1,09	1,68
MgO . . .	0,49	1,04	0,49	1,05	0,49	1,06
K ₂ O . . .	1,53	2,00	1,53	2,02	1,54	2,03
Na ₂ O . . .	0,28	0,34	0,28	0,34	0,28	0,35
P ₂ O ₅ . . .	0,32	0,40	0,32	0,40	0,32	0,41
SO ₃ . . .	0,17	0,20	0,17	0,20	0,17	0,20
CaCO ₃ . . .	0,59	0,39	0,59	0,39	—	—
Hydr. H ₂ O	2,81	7,94	2,80	8,03	2,82	8,06
Feuchtigkeit	0,23	1,27	—	—	—	—
Summe . .	100,41	100,16	100,01	99,99	99,99	100,01

Zusammensetzung.

	des unlöslichen Rückstandes		des karbonatfreiberechneten salzsäurelöslichen Anteils	
	I %	2 %	I %	2 %
SiO ₂ . . .	85,63	59,50	2,45	1,80
TiO ₂ . . .	0,27	0,72	—	—
Al ₂ O ₃ . . .	6,26	20,10	22,32	13,31
Fe ₂ O ₃ . . .	4,66	14,42	44,95	62,41
MnO . . .	0,05	0,07	1,22	0,54
CaO . . .	0,64	0,96	14,98	14,93
MgO . . .	0,29	1,05	6,73	2,70
K ₂ O . . .	1,57	2,26	1,83	1,44
Na ₂ O . . .	0,27	0,38	0,92	0,36
P ₂ O ₅ . . .	0,21	0,32	3,67	2,34
SO ₃ . . .	0,15	0,22	0,92	0,18
Summe . .	100,00	100,00	99,99	100,01

Die sandige Ausbildung der Probe 1 wird durch den Ausfall sämtlicher Bauschanalysenbefunde sowohl hinsichtlich der Gesamtzusammensetzung als auch des unlöslichen Rückstandes ohne weiteres erhärtet und bedarf daher keiner weiteren Besprechung. Der gelbe Lehm entspricht in seiner Zusammensetzung den übrigen analogen Bildungen aus dem vorliegenden Weißjuragebiet.

An die bisher beschriebenen und untersuchten Aufschlüsse schließen sich eigentlich noch solche aus dem Gebiet des Nördlinger Rieses an, die an dieser Stelle ihre Behandlung finden müßten, und zwar nicht nur deswegen, weil sie den bisher besprochenen Bildungen sehr ähneln, sondern auch aus dem Grunde, weil man in letzter Zeit das Vorkommen solcher Gebilde in diesem Gebiet in Abrede gestellt hat. Leider kann jedoch erst später in Gemeinschaft mit anderen roterdeartigen Bildungen aus dem Gebiet des Muschelkalks bei Karlstadt am Main auf diese Vorkommnisse eingegangen werden, da die chemische Untersuchung des Materials augenblicklich nicht durchzuführen war.

Zum Schluß unserer experimentellen Ausführungen über die Zusammensetzung der Kalkgesteine und Bohnerzlehme des Weißjuras sei noch eine diesbezügliche Mitteilung von W. Kuhn und W. Meigen¹⁾ angeführt, welche ebenfalls ein derartiges Material, allerdings aus dem Badischen Klettgau des Blattes Grießen stammend, mit nachstehendem Erfolg geprüft haben. Das Gestein gehört dem Quader- und Massenkalk (δ, ϵ) des oberen Malm an. Wie ihre nachstehend wiedergegebenen Befunde erkennen lassen, stehen sie den unserigen durchaus nahe:

Zusammensetzung

	des Kalksteins	des unlösl. Rückstandes des Kalksteins	des Bohnerzlehms
SiO ₂	0,10	48,6	49,6
TiO ₂	—	0,9	1,6
Al ₂ O ₃	0,05	37,2	26,4
FeO	0,03	Fe ₂ O ₃ 0,8	Fe ₂ O ₃ 10,8
MnO	0,48	—	0,02
MgO	2,76	—	0,2
CaO	50,10	—	0,6
NaCl	} 0,06	—	Na ₂ O 0,1
KCl		—	K ₂ O 0,3
P ₂ O ₅		—	0,03
CO ₂	42,55	—	0,13
H ₂ O ⁺	—	12,8	10,6
unlösl. Rückstand	4,09	—	—
Summe	100,31	100,3	100,4

¹⁾ W. Kuhn und W. Meigen, Bohnerz und Bohnerzton aus dem Klettgau (Baden). Jahresber. u. Mitt. d. Oberrh. geol. Ver., Jahrg. 1924, S. 53—55.

Wenn aber hieraus der Schluß gezogen wird, daß der in Salzsäure unlösliche Rückstand des Kalksteins mit dem Bohnerzlehm übereinstimmt, so können wir dieser Ansicht nicht zustimmen, da höchstens eine Übereinstimmung hinsichtlich des Kieselsäure- nicht aber des, Eisen- und Tonerdegehaltes besteht, so daß auch die weitere Folgerung der Genannten hinfällig erscheint, denn sie besagt: „Vom chemischen Standpunkt würde der Annahme nichts im Wege stehen, den Bohnerzton als Verwitterungsrückstand eines dem noch vorhandenen ähnlichen Kalksteins aufzufassen.“ Wogegen, nebenbei gesagt, unsere vorliegenden Untersuchungen sowie auch sonst noch viele frühere Veröffentlichungen von uns den gegenteiligen Nachweis erbracht haben.

Ebenso wie wir auf S. 197—199 vorliegender Abhandlung die Analysenbefunde der Muschelkalkgesteine einander gegenübergestellt haben, so soll nunmehr gleiches hinsichtlich der analogen Daten der Weißjurakalke geschehen. Wobei nur noch bemerkt sein möge, daß in dieser Übersicht außerdem eine Gesteinsprobe von der Ofnetzhöhle im Nördlinger Ries angeführt worden ist, die bisher noch keine Berücksichtigung gefunden hat. Wenn diese hier Aufnahme gefunden hat, so ist dieses aus einem sofort verständlichen Grunde geschehen. Vergleicht man nämlich die Bauschanalysen der verschiedenen Etagen der dem weißen Jura angehörenden Kalkgesteine, so zeigt sich im großen und ganzen eine im Aufbau derselben ziemlich gleichartige Anteilnahme ihrer einzelnen Bestandteile, zu welcher Erkenntnis aber eine möglichst große Anzahl von Proben herangezogen werden mußte, wie dieses denn auch in der nachstehenden Zusammensetzung zum Ausdruck kommt (s. Seite 260 und 261).

Bei näherer Betrachtung lassen sich dagegen ungezwungen einige ganz allgemein auftretende Unterschiede erkennen. Der Gehalt an CaCO_3 ist in der Stufe $w_{\gamma\delta}$ merkbar am geringsten, demgegenüber aber an MgCO_3 am höchsten. Für die Stufe w_ϵ ergibt sich durchweg der höchste Gehalt an CaCO_3 , jedoch nicht ständig der niedrigste an MgCO_3 , und der CaCO_3 -Gehalt der Stufe w_ζ liegt, wenn auch z. T. nur um sehr geringe Gehaltsmengen, zwischen den beiden anderen Stufen, wogegen sein MgCO_3 -Anteil z. T. der Weißjurastufe w_ϵ entspricht bzw. auch z. T. nicht nahe kommt. Der SiO_2 -Gehalt der Stufe $w_{\gamma\delta}$ wird in keinem Fall von den beiden anderen Stufen erreicht, er steht an zweiter Stelle in der Stufe w_ζ und fällt demgegenüber in w_ϵ am geringsten aus. Analoges gilt auch für den TiO_2 -Gehalt und ebenso für den Gehalt an Al_2O_3 und Fe_2O_3 . Ähnliches kommt auch für die übrigen Bestandteile zur Wiedergabe, wenn auch nicht immer ganz so regelmäßig. Immerhin sind, um dieses nochmals zu betonen, die einzelnen Unterschiede in ihrer Gesamtheit nicht sehr groß. Weniger treten die besagten Abweichungen allerdings in der Zusammensetzung

	w _{γδ} Schalt- berg b. Gen- kingen %	w _ε Hai- ningen %	w _ε Gussen- stadt %	w _ε Ehren- stein %	w _ζ Hat- tingen %	w _ζ Lip- tingen II %	w _ζ Lip- tingen I %	Off- h %
SiO ₂	3,428	0,196	0,125	0,067	2,535	1,868	0,379	
TiO ₂	0,028	0,004	0,004	0,003	0,008	0,016	0,007	
Al ₂ O ₃	0,704	0,059	0,046	0,051	0,396	0,590	0,099	
Fe ₂ O ₃	0,420	0,086	0,067	0,015	0,257	0,240	0,242	
CaO	0,029	0,002	0,002	0,005	0,042	0,109	0,002	
MgO	0,067	0,003	0,001	0,001	0,022	0,092	0,006	
K ₂ O	0,273	0,047	0,024	0,039	0,159	0,147	0,059	
Na ₂ O	0,040	0,021	0,017	0,015	0,026	0,025	0,021	
P ₂ O ₅	0,065	0,040	0,024	0,015	0,035	0,064	0,036	
SO ₃	0,036	0,005	0,004	0,005	0,010	0,010	0,009*	
H ₂ O ⁺	0,330	0,027	0,014	0,009	0,149	0,251	0,040	
H ₂ O ⁻	0,500	0,030	0,090	0,050	0,340	0,030	0,020	
CaCO ₃	92,850	98,690	98,690	99,080	95,320	96,010	98,330	99
MgCO ₃	1,510	0,770	0,980	0,400	0,840	0,760	0,846	0
Summe	100,280	99,980	100,088	99,755	100,139	100,212	100,090	100

Desgleichen dieselben karbonat- und wasserfrei berechnet.

	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	63,25	40,00	38,11	29,85	69,67	54,75	42,11	29
TiO ₂	0,52	0,82	1,22	1,33	0,22	0,47	0,78	1
Al ₂ O ₃	12,99	12,04	14,02	22,66	10,89	17,29	11,00	12
Fe ₂ O ₃	7,75	17,55	20,43	6,66	7,06	7,03	26,89	16
CaO	0,54	0,41	0,61	2,22	1,15	3,19	0,22	1
MgO	1,24	0,61	0,30	0,43	0,60	2,70	0,67	0
K ₂ O	5,04	9,59	7,32	17,32	4,37	4,31	6,56	15
Na ₂ O	0,74	4,29	5,18	6,66	0,71	0,73	2,33	6
P ₂ O ₅	1,20	8,16	7,32	6,66	0,96	1,88	4,00	7
SO ₃	0,66	1,02	1,22	2,22	0,27	0,29	1,00	2
H ₂ O ⁺	6,09	5,51	4,27	4,00	4,09	7,36	4,44	5
Summe	100,02	100,00	100,00	100,01	99,99	100,00	100,00	100

Zusammensetzung des auf wasserfreie Substanz berechneten unlöslichen R
standes.

	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	75,54	66,94	74,68	66,15	83,42	68,16	68,70	66
TiO ₂	0,61	1,18	0,96	1,75	0,16	0,46	0,96	3
Al ₂ O ₃	14,93	22,85	17,00	17,30	10,65	20,83	22,36	16
Fe ₂ O ₃	2,02	3,21	2,00	2,83	0,83	2,62	3,00	—
CaO	0,66	1,15	1,81	7,21	1,42	4,11	0,46	6
MgO	1,51	1,48	0,86	0,83	0,75	1,74	1,39	1
K ₂ O	4,50	3,00	2,55	3,68	2,62	1,89	3,01	4
Na ₂ O	0,24	0,18	0,14	0,26	0,15	0,18	0,12	0
Summe	100,01	99,99	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00	100

	wyδ Schalt- berg b. Gen- kingen %	wε Zai- ningen %	wε Gussen- stadt %	wε Ehren- stein %	wζ Hat- tingen %	wζ Lip- tingen II %	wζ Lip- tingen I %	wε Ofnetz- höhle %
O ₂	0,057	0,064	0,039	0,024	0,071	0,055	0,104	0,028
O ₂	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002
2O ₃	0,038	0,014	0,026	0,040	0,081	0,036	0,010	0,019
2O ₃	0,330	0,080	0,065	0,013	0,233	0,170	0,230	0,038
O	52,030	55,300	55,300	55,520	53,410	53,800	55,100	55,650
gO	0,720	0,370	0,470	0,190	0,400	0,410	0,400	0,210
2O	0,072	0,041	0,021	0,037	0,082	0,097	0,047	0,031
2O	0,029	0,021	0,017	0,015	0,022	0,020	0,021	0,015
O ₅	0,065	0,040	0,024	0,015	0,035	0,064	0,036	0,017
O ₃	0,036	0,005	0,004	0,005	0,010	0,010	0,009	0,005
O ⁺	0,298	0,026	0,013	0,008	0,128	0,230	0,034	0,011
O ⁻	0,500	0,030	0,090	0,050	0,340	0,030	0,020	0,100
O ₂	41,650	43,860	43,860	43,810	42,360	42,610	43,700	43,870
Rückstand .	4,495	0,198	0,116	0,066	2,974	2,680	0,406	0,059
mmme . . .	100,321	100,051	100,048	99,795	100,149	100,216	100,120	100,055

der wasser- und karbonatfrei berechneten Bauschanalysen und auch in der Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes in Erscheinung, wohl aber wieder etwas mehr in dem Ausfall der Salzsäureauszüge. Jedoch trotz alledem erweisen sich die Unterschiede im chemischen Aufbau der einzelnen Stufen immerhin derartig markant, daß man auf Grund derselben leicht den Nachweis zu erbringen in der Lage ist, welcher besonderen Stufe ein Malmkalk angehören dürfte, was insofern nicht uninteressant erscheint, als die Fundorte der einzelnen Proben teilweise sogar recht weit von einander entfernt liegen. Es erschien daher nicht unmöglich zu sein, mit Hilfe der chemischen Analyse eine Etagenbestimmung ohne Benutzung von irgend welchen geologischen bzw. paläontologischen Indizien durchzuführen. So verlockend diese Aussicht nun auch war, so hat sie sich doch bei weiterer Verfolgung dieser Verhältnisse unter Heranziehung weiteren Analysenmaterials aus früheren Untersuchungen der Malmgesteine des fränkischen Weißjuragebietes leider als trügerisch gezeigt, so daß eine Parallelisierung der Malmschichten auf Grund des Ausfalls der chemischen Analyse allein doch nicht für alle Fälle möglich erscheint.

Stellt man nun diesen Ermittlungen über die Zusammensetzung der Kalkgesteine die analogen Befunde der Roterdezusammensetzung gegenüber, wie dieses die nachstehenden Tabellen einmal in der Wiedergabe ihrer auf wasser-, humus- und karbonatfrei berechneten Substanz, andermal ergänzend dazu auch die auf hydratwasserfreie Masse berechneten Werte übermitteln, so läßt sich aus einem Vergleich aller dieser Befunde ohne weiteres ableiten, daß weder eine Beziehung zwischen

Zusammensetzung der Roterden auf und im Malmkalk der schwäbischen A

	Schaltberg b. Genkingen in wγδ		Fri- dingen in wε	Gussenstadt in wε		Ehrenstein in wε		Hat- tingen in wε	Inne- ringen in wε	L tin in
	2 %	4 %	%	3 %	6 %	2 %	5 %	%	%	
SiO ₂	45,55	43,26	61,41	40,63	50,36	46,30	41,61	50,73	53,89	49
TiO ₂	1,22	2,08	1,26	1,20	0,51	0,79	1,03	0,87	0,65	24
Al ₂ O ₃	25,19	21,22	14,79	22,71	22,39	22,09	26,75	24,00	17,72	24
Fe ₂ O ₃	14,58	15,70	9,38	21,63	10,17	15,27	16,06	11,90	10,60	10
Mn ₃ O ₄	0,06	0,81	0,08	0,13	0,13	0,12	0,14	0,04	0,23	0
CaO	0,94	1,86	1,94	0,66	2,91	—	1,65	0,32	4,04	0
MgO	0,72	0,21	0,90	0,66	1,05	—	0,59	1,57	1,33	0
K ₂ O	0,34	1,10	0,96	0,60	1,29	0,65	0,44	1,86	1,09	0
Na ₂ O	0,31	0,43	0,48	0,44	0,66	0,56	0,63	0,25	0,25	0
P ₂ O ₅	0,37	0,41	0,38	0,24	0,27	0,24	0,21	0,22	0,29	0
SO ₃	—	0,18	0,02	0,20	0,22	0,24	0,17	0,01	0,25	0
H ₂ O ⁺	10,72	12,74	8,38	10,90	10,04	13,74	10,72	8,22	9,66	10
Summe	100,00	100,00	99,98	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	99

Desgleichen, des besseren Vergleiches halber hydratwasserfrei berech

	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	51,02	49,58	67,04	45,60	55,98	53,67	46,61	55,28	59,65	55
TiO ₂	1,37	2,38	1,38	1,35	0,57	0,92	1,15	0,95	0,72	24
Al ₂ O ₃	28,21	24,32	16,15	25,49	24,89	25,61	29,96	26,15	19,61	27
Fe ₂ O ₃	16,33	17,99	10,24	24,28	11,31	17,70	17,99	12,97	11,73	12
Mn ₃ O ₄	0,07	0,93	0,09	0,15	0,14	0,14	0,16	0,04	0,25	0
CaO	1,05	2,13	2,12	0,74	3,23	—	1,85	0,35	4,47	0
MgO	0,81	0,24	0,98	0,74	1,17	—	0,66	1,71	1,47	0
K ₂ O	0,38	1,26	1,05	0,67	1,43	0,75	0,49	2,03	1,21	0
Na ₂ O	0,35	0,49	0,52	0,49	0,73	0,65	0,71	0,27	0,28	0
P ₂ O ₅	0,41	0,47	0,41	0,27	0,30	0,28	0,24	0,24	0,32	0
SO ₃	—	0,21	0,02	0,22	0,24	0,28	0,19	0,01	0,28	0
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	100,00	99,99	99

der Zusammensetzung der Kalkgesteine und der daraus hervor-
gegangen sein sollenden Roterden, noch der Zusammensetzung der in
Salzsäure unlöslichen Gesteinsrückstände und der Roterden zu er-
kennen ist, was aber doch der Fall sein müßte, wenn die Lösungs-
theorie zu Recht bestehen würde. Wir gelangen daher auch hier,
geradeso wie bei den auf und in Muschelkalkgebieten auftretenden
Roterden, zu dem Schluß, daß nur dem Kalk an sich in Gestalt eines
chemisch ausfallenden Agens die ausschlaggebende Rolle bei dem
Bildungsvorgang der Roterden auf Kalkgestein zukommt und ferner,

¹⁾ Berechnet auf von Wasser, Humus und Karbonat befreite Substanz.

daß die Roterde nicht lediglich der Verwitterungsrückstand der Kalkgesteine sein kann oder ist.

Sehen wir nämlich von der Roterde von Fridingen, die infolge ihres sandigen Charakters sowie auch ihrer wahrscheinlich nicht sehr großen Reinheit, sondern vermutlicher Vermischung mit dem überlagernden Humusboden nicht als reine Roterde angesehen werden darf, ab, so bewegen sich die Kieselsäurewerte der Roterdebildungen vorliegenden Gebietes zwischen rund 51 und 42 %, die der Tonerde innerhalb von etwa 25 und 21 % sowie die des Eisens zwischen 21 und 10 %, denn auch die Roterde von Inneringen läßt sich nicht ganz zu einer den typischen Vertretern ihrer Art angehörenden Bildung stempeln und muß daher bei diesen Erwägungen gleichfalls ausgeschlossen bleiben. Dagegen bewegen sich die Kieselsäure- und Sesquioxidgehalte im unlöslichen Rückstand der Gesteine in ganz anderen Grenzen, insofern erstere bei über 60 % liegen und etwa bis über 80 % hinaus zu steigen vermögen, die Tonerde niemals die gleiche Höhe der Anteilnahme in der Roterde erreicht und das Eisen sich sogar direkt gering erweist.

Nicht viel anders steht es nun aber auch mit einem weiteren Vergleich der Zusammensetzung der Kalkgesteine und der Spaltenlehme bzw. Tone (S. 264). Auch hier weichen die Kieselsäuregehaltszahlen der letzteren in ihrer Höhe von etwa $63\frac{1}{2}$ — $48\frac{1}{2}$ % erheblich von denjenigen des wasserfrei berechneten unlöslichen Rückstandes ab. Die Tonerdegehaltszahlen zwischen rund 32 und 15 % sowie diejenigen für Eisenoxyd liegen innerhalb der Schwankung von 19—15 % und weisen überhaupt eine recht große Differenz auf, was jedoch infolge ihrer Natur als Einschlammungsprodukte nicht gerade verwunderlich erscheinen kann.

Schließlich lassen die Befunde der Rendzina (vergl. Tabelle S. 265) auch in besagter Richtung keine Beziehungen erkennen, da hier schon der Gehalt an Kieselsäure, bezogen auf die hydratwasserfrei berechnete Masse, stets über 60 % liegt, dagegen aber die Anteilnahme der Tonerde sich nur in einem Fall über 20 % erhebt, in den meisten Fällen sich sogar nur um 14—16 % herum bewegt und schließlich die Menge des Eisenoxydes sogar nur zwischen 10 und 12 % schwankt.

Den Malmkalken der Frankenalb kommt nach unseren früheren Untersuchungen¹⁾ die auf S. 266 u. 267 wiedergegebene Zusammensetzung zu. Auch hier handelt es sich um verhältnismäßig reine Kalkgesteine, die zwar etwas stärker mit nichtkarbonatischen Anteilen als die Malmkalke

¹⁾ E. Blanck und E. v. Oldershausen, Über rezente und fossile Roterde-(Terra rossa-)Bildung, insbesondere im Gebiet der südlichen Frankenalb. *Chemie d. Erde* 10, 1 (1936).

Zusammensetzung der gefärbten Lehme und Tone auf und im Malmkalk (schwäbischen Alb¹⁾).

	Schaltberg b. Genkingen in wγδ		Zai- ningen in wε	Gussenstadt in wε		Ehren- stein in wε	Liptingen in wζ			Beim stett in v
	1a %	1b %	%	1 %	2 %	4 %	2 %	4 %	5 %	%
SiO ₂	50,08	57,92	52,77	50,74	41,35	42,91	56,60	42,34	42,55	51,1
TiO ₂	1,92	2,77	1,87	0,70	0,81	0,73	1,48	2,23	1,88	0,7
Al ₂ O ₃	25,58	18,46	14,85	18,90	28,65	26,23	13,63	25,87	27,88	18,7
Fe ₂ O ₃	9,08	9,96	16,56	16,04	15,66	15,92	17,23	15,49	13,30	15,5
Mn ₂ O ₄	0,01	0,01	0,31	0,03	0,10	0,08	0,02	0,02	0,06	0,0
CaO	0,89	0,38	2,15	1,17	0,84	0,95	0,24	0,44	0,85	1,1
MgO	0,42	0,53	0,74	1,12	0,27	0,49	0,22	0,23	0,42	1,1
K ₂ O	0,68	0,60	1,28	1,31	0,87	0,34	0,10	0,64	0,32	2,1
Na ₂ O	0,26	0,34	0,42	0,42	0,50	0,63	0,22	0,39	0,29	0,7
P ₂ O ₅	0,21	0,24	0,42	0,23	0,36	0,22	0,12	0,20	0,35	0,7
SO ₃	—	Sp.	0,10	0,10	0,19	0,19	0,01	0,01	0,01	0,0
H ₂ O ⁺	10,87	8,79	8,53	9,24	10,40	11,30	10,12	12,14	12,09	8,7
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	99,99	100,00	100,00	100,0

Desgleichen hydratwasserfrei berechnet.

	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	56,19	63,50	57,69	55,91	46,15	48,38	62,98	48,19	48,40	55,1
TiO ₂	2,15	3,04	2,04	0,77	0,90	0,82	1,65	2,54	2,14	0,7
Al ₂ O ₃	28,70	20,24	16,23	20,82	31,98	29,57	15,17	29,44	31,71	19,7
Fe ₂ O ₃	10,19	10,92	18,10	17,67	17,48	17,95	19,17	17,63	15,13	17,5
Mn ₂ O ₄	0,01	0,01	0,34	0,03	0,11	0,09	0,02	0,02	0,07	0,0
CaO	1,00	0,42	2,35	1,29	0,94	1,07	0,27	0,50	0,97	1,1
MgO	0,47	0,58	0,81	1,23	0,30	0,55	0,24	0,26	0,48	1,1
K ₂ O	0,76	0,66	1,40	1,44	0,97	0,38	0,11	0,73	0,36	2,1
Na ₂ O	0,29	0,37	0,46	0,46	0,56	0,71	0,24	0,44	0,33	0,7
P ₂ O ₅	0,24	0,26	0,46	0,25	0,40	0,25	0,13	0,23	0,40	0,7
SO ₃	—	Sp.	0,11	0,11	0,21	0,21	0,01	0,01	0,01	0,0
Summe	100,00	100,00	99,99	99,98	100,00	99,98	99,99	99,99	100,00	99,9

der schwäbischen Alb unseres Untersuchungsgebietes ausgestattet sind, wie dieses der Vergleich der Analysenzahlen lehrt. Nur der Frankendolomit macht hiervon eine unmittelbar in die Augen fallende Ausnahme. Die der Stufe des Ammonites pseudomutabilis (δ) angehörnden Kalkgesteine führen im großen und ganzen auch nur wenig nicht-karbonatische Anteile, wenngleich sich im Einzelfall auch wohl eine deutliche Abweichung davon einstellen kann. In der Umrechnung der Bauschanalysenbefunde auf wasser- und karbonatfreie Substanz treten

¹⁾ Berechnet auf von Wasser, Humus und Karbonat befreite Substanz.

Zusammensetzung der Rendzinabildungen auf dem Malmkalk der schwäbischen Alb.

	Schalt- berg b. Gen- kingen auf w _{γδ} %	Zai- ningen auf w _ε %	Gussen- stadt auf w _ε %	Ehren- stein auf w _ε %	Hat- tingen auf w _ζ %	Lip- tingen I. auf w _ζ %	Inne- ringen auf w _ε %
SiO ₂	60,94	59,88	61,72	60,11	54,84	58,74	61,31
TiO ₂	1,44	1,38	0,68	0,59	0,92	1,40	0,51
Al ₂ O ₃	12,58	12,27	14,40	14,31	20,61	18,05	15,37
Fe ₂ O ₃	9,37	10,78	9,52	10,14	10,48	9,47	9,12
Mn ₃ O ₄	0,27	0,65	0,15	0,15	0,07	0,08	0,30
CaO	1,79	2,14	1,29	1,66	0,42	0,87	1,31
MgO	1,13	1,07	1,72	0,57	1,56	0,75	1,51
K ₂ O	1,60	1,66	1,72	1,05	1,74	1,14	1,39
Na ₂ O	0,44	0,74	0,59	0,72	0,34	0,55	0,58
P ₂ O ₅	0,35	0,50	0,21	0,29	0,28	0,16	0,32
SO ₃	0,20	0,24	0,23	0,19	0,01	0,01	0,24
H ₂ O ⁺	9,89	8,69	7,79	10,22	8,72	8,78	8,04
Summe	100,00	100,00	100,02	100,00	99,99	100,00	100,00

Desgleichen hydratwasserfrei berechnet.

	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	67,63	65,58	66,92	66,95	60,08	64,39	66,67
TiO ₂	1,60	1,51	0,74	0,66	1,01	1,53	0,55
Al ₂ O ₃	13,96	13,44	15,61	15,94	22,58	19,79	16,71
Fe ₂ O ₃	10,40	11,81	10,32	11,29	11,48	10,38	9,92
Mn ₃ O ₄	0,30	0,71	0,16	0,17	0,08	0,09	0,33
CaO	1,99	2,34	1,40	1,85	0,46	0,95	1,42
MgO	1,25	1,17	1,86	0,63	1,71	0,82	1,64
K ₂ O	1,78	1,82	1,86	1,17	1,91	1,25	1,51
Na ₂ O	0,49	0,81	0,64	0,80	0,37	0,60	0,63
P ₂ O ₅	0,39	0,55	0,23	0,32	0,31	0,18	0,35
SO ₃	0,22	0,26	0,25	0,21	0,01	0,01	0,26
Summe	100,01	100,00	99,99	99,99	100,01	99,99	99,99

diese Unterschiede naturgemäß stärker in Erscheinung. Die Zusammensetzung ihres in Salzsäure unlöslichen Rückstandes weist gleichfalls auf z. T. erhebliche Unterschiede im Gehalt an SiO₂ und Al₂O₃, dagegen weniger an Fe₂O₃ und allen sonstigen Bestandteilen hin, während solche wieder in den Salzsäureauszügen recht verschwinden. Ganz allgemein betrachtet liegen jedenfalls, abgesehen von geringen Ausnahmefällen, keine allzu großen Differenzen in der Zusammensetzung der Malmkalke beider Gebiete vor, wie solches die zum Vergleich dienenden, nachstehend wiedergegebenen Analysendaten dar- tun mögen.

Gesamtanalysen der untersuchten Malmkalke der fränkischen Alb.

	Weissen- burg i. B.	Grafenmühle bei Pappenheim		Straße Suffers- heim- Neudorf	Walting	Dolln- stein- Mörs- heim	Franken- dolomit
	δ %	δ %	δ %	γ %	δ %	δ %	ε %
SiO ₂	1,95	1,49	1,21	2,47	1,00	2,35	0,03
TiO ₂	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	—
Al ₂ O ₃	0,62	0,47	0,24	1,00	0,40	1,57	0,02
Fe ₂ O ₃	0,13	0,34	0,24	0,29	0,15	0,62	0,07
CaO	0,07	0,49	0,02	0,02	0,01	0,23	—
MgO	0,96	0,51	0,62	0,75	0,18	1,14	0,46
K ₂ O	0,22	0,09	0,13	0,22	0,13	0,10	0,04
Na ₂ O	0,11	0,06	0,11	0,11	0,05	0,09	0,03
P ₂ O ₅	Sp.	0,13	0,06	Sp.	Sp.	0,09	0,05
SO ₃	0,19	Sp.	0,09	0,17	0,15	Sp.	Sp.
H ₂ O ⁺	—	0,22	0,23	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,10	—	—	0,14	0,20	0,42	0,22
CaCO ₃	96,32	96,41	96,84	95,36	96,50	93,45	82,14
MgCO ₃	0,10	—	—	0,04	0,99	—	16,72
Rückstand	—	—	—	—	—	—	0,27
Summe	100,79	100,23	99,81	100,61	99,77	100,10	100,05

Desgleichen dieselben wasser- und karbonatfrei berechnet.

	%	%	%	%	%	%	
SiO ₂ . .	48,03	39,01	40,74	48,81	43,76	35,40	
TiO ₂ . .	0,49	0,52	0,67	0,59	0,44	0,60	
Al ₂ O ₃ . .	15,27	12,30	8,08	19,77	17,52	23,65	
Fe ₂ O ₃ . .	3,20	8,90	8,08	5,73	6,60	9,34	
CaO . . .	—	12,83	0,68	—	0,44	3,31	
MgO . .	22,41	13,35	20,89	15,22	7,92	17,20	
K ₂ O . .	5,42	2,36	4,37	4,35	5,72	1,51	
Na ₂ O . .	2,71	1,56	3,70	2,17	2,20	1,36	
P ₂ O ₅ . .	—	3,40	2,02	Sp.	Sp.	1,36	
SO ₃ . . .	—	Sp.	3,03	3,36	6,60	Sp.	
H ₂ O ⁺ . .	2,47	5,77	7,74	—	8,80	6,33	
Summe	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,06	

Die aber auf und in ihnen zur Ausbildung gelangten Roterden erscheinen zumeist im Vergleich zu denjenigen der schwäbischen Alb weit weniger typisch entwickelt, insofern sie im allgemeinen über einen etwas höheren Gehalt an Kieselsäure, einen geringeren an Tonerde und Eisenoxyd verfügen, wenn auch wohl Ausnahmen vorhanden sind. Schon der weit niedere Hydratwassergehalt, mit Ausnahme für die Roterde von Dollnstein-Mörsheim, weist unmittelbar darauf hin, in-

Zusammensetzung des unlöslichen Rückstandes.

	Weissen- burg i. B.	Grafenmühle bei Pappenheim		Straße Suffers- heim- Neudorf	Walting	Dolln- stein- Mörns- heim
	δ %	δ %	δ %	γ %	δ %	δ %
SiO ₂ . . .	71,19	75,98	70,43	66,40	67,68	58,29
TiO ₂ . . .	0,72	1,02	1,02	0,96	0,83	1,03
Al ₂ O ₃ . . .	18,40	13,03	16,94	21,56	20,46	33,24
Fe ₂ O ₃ . . .	1,11	2,90	2,98	3,81	3,05	2,90
CaO . . .	0,84	1,50	1,42	0,64	0,94	1,64
MgO . . .	1,63	2,18	1,78	1,85	2,49	1,16
K ₂ O . . .	5,93	2,91	5,07	4,55	4,91	1,71
Na ₂ O . . .	0,14	0,33	0,15	0,19	0,12	0,22
Summe . .	99,96	99,85	99,82	100,01	100,48	100,19

Salzsäureauszüge.

	%	%	%	%	%	%
SiO ₂ . . .	0,07	0,09	0,05	0,13	0,08	0,21
Al ₂ O ₃ . . .	0,13	0,33	0,06	0,24	0,12	0,37
Fe ₂ O ₃ . . .	0,10	0,29	0,19	0,16	0,11	0,52
CaO . . .	54,05	54,45	54,15	53,38	54,04	52,50
MgO . . .	0,92	0,47	0,59	0,70	0,62	1,10
K ₂ O . . .	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04
Na ₂ O . . .	0,10	0,05	0,08	0,10	0,05	1,08
P ₂ O ₅ . . .	Sp.	0,13	0,06	Sp.	Sp.	0,09
SO ₃ . . .	0,19	Sp.	0,09	0,17	0,15	Sp.
H ₂ O ⁺ . . .	—	0,22	0,23	—	—	—
H ₂ O ⁻ . . .	0,10			0,14	0,20	0,42
CO ₂ . . .	42,43	42,42	42,61	41,98	42,98	41,12
Rückstand .	2,65	1,82	1,64	3,52	1,36	3,67
Summe . .	100,80	100,31	99,80	100,58	99,77	100,12

dem er in keinem anderen Fall die Höhe desselben in den schwäbischen Vorkommnissen erreicht (vgl. erste Tabelle auf S. 268).

Die den Roterden überlagernden Humushorizonte weichen andererseits, allerdings wieder mit Ausnahme des Humushorizonts im Profil von Dollnstein-Mörnsheim, von den Rendzinabildungen der schwäbischen Alb recht deutlich durch ihren höheren Gehalt an Kieselsäure und niederen Gehalt an Sesquioxiden, insbesondere an Fe₂O₃, ab, mit welchen Verhältnissen vermutungsweise auch die zumeist weniger typische Ausbildung ihrer Roterdebildungen in Verbindung stehen kann (vgl. zweite Tabelle auf S. 268).

Man erkennt aus allen diesen Gegenüberstellungen unschwer, daß eine weitgehende Übereinstimmung sämtlicher Befunde nicht vor-

Zusammensetzung der Roterden auf und im fränkischen Malmkalk¹⁾.

	Weißenburg i. B.		Grafenmühle bei Pappenheim		Wal- ting	Soln- hofen- Mörns- heim	Dolln- stein- Mörns- heim
	%	%	%	%	%	%	%
SiO ₂ . .	66,52	60,30	59,92	57,95	49,31	55,35	38,70
TiO ₂ . .	0,62	0,63	0,77	0,87	0,68	0,65	0,62
Al ₂ O ₃ . .	16,14	21,21	19,96	24,55	26,16	23,87	27,35
Fe ₂ O ₃ . .	6,73	8,64	8,46	8,90	11,33	10,03	10,74
Mn ₂ O ₄ . .	—	Sp.	1,33	1,38	Sp.	Sp.	4,79
CaO . .	1,68	1,20	1,39	2,08	—	0,47	0,50
MgO . .	0,97	0,66	0,67	0,79	2,59	2,36	2,19
K ₂ O . .	1,61	0,45	0,31	0,32	2,05	0,68	0,89
Na ₂ O . .	0,38	0,34	0,21	0,27	0,26	0,23	1,54
P ₂ O ₅ . .	0,15	0,27	0,19	0,25	0,33	0,21	0,81
SO ₃ . .	0,99	0,09	0,06	0,05	0,07	0,18	0,04
H ₂ O ⁺ . .	5,11	0,21	6,53	2,59	7,21	5,98	11,82
Summe . .	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,01	99,98

Zusammensetzung der Humushorizonte der Roterden auf fränkischem Malmkalk.

	Weißen- burg i. B.	Grafen- mühle bei Pappenheim	Walting	Solnhofen- Mörnsheim	Dolln- stein- Mörnsheim
	1 %	15 %	24 %	21 %	30 %
SiO ₂ . . .	75,44	68,67	82,63	77,44	42,51
TiO ₂ . . .	0,70	0,73	0,58	0,85	0,43
Al ₂ O ₃ . . .	10,35	13,58	7,57	8,86	10,62
Fe ₂ O ₃ . . .	4,06	6,33	3,29	4,68	7,12
Mn ₂ O ₄ . . .	Sp.	1,70	Sp.	—	Sp.
CaO . . .	0,34	0,54	0,72	1,34	9,28
MgO . . .	0,54	0,70	0,57	1,81	11,37
K ₂ O . . .	1,51	0,68	1,97	1,08	0,78
Na ₂ O . . .	0,45	0,27	0,36	0,50	0,75
P ₂ O ₅ . . .	0,20	0,19	0,15	0,18	0,56
SO ₃ . . .	0,09	0,07	0,06	0,22	0,29
H ₂ O ⁺ . . .	6,32	6,52	2,10	3,03	16,27
Summe . . .	100,00	100,00	100,00	99,99	99,98

handen ist. Dennoch zeigt es sich, wie schon im einzelnen dargetan, immer wieder, daß Roterde und Kalkgesteinsrückstand nicht gleichartig sind und die Roterde als Illuvialhorizontbildung der überlagernden humosen Bodenbildungen in Frage kommen kann. Aber

¹⁾ Berechnet auf von Wasser, Humus und Karbonat befreite Substanz.

auch die Lehm-, Ton- und Bolusbildungen, was nicht vergessen werden darf, lassen sich in stofflicher Hinsicht nicht grundsätzlich von den als Terra rossa angesprochenen Bildungen unterscheiden. Erhebliche Unterschiede in den Spaltenausfüllungsmassen sind aber, worauf K. Weiger¹⁾ insbesondere hingewiesen hat, vorhanden, wenngleich sie sich auch manchmal sehr zu verwischen scheinen. Auch wir haben dieselben festzustellen vermocht und stellen uns somit auf den von K. Weiger eingenommenen Standpunkt, obschon wir nicht in der Lage sind, in allen Einzelheiten dafür eintreten zu können. K. Weiger hält die braunen Lehme für eingeschwemmte Produkte und auch die Terra rossa für einen eingeschwemmten Lösungsrückstand, ersterer Ansicht stimmen wir zu, nicht aber der letzteren. Daß alle diese Produkte seiner Auffassung nach mehr oder weniger verunreinigt sind, ist nach unseren Beobachtungen gleichfalls zuzugeben, daß die Bedeckung mit einem andersartig gefärbten Lehm, der Weißjurakiese enthält und mit der Gesteinsoberfläche abschneidet, spricht nach ihm für eine zur Diluvialzeit zugeführte Bildung, was sicherlich in manchen Fällen zutreffen dürfte, aber doch wohl nicht allgemein zu gelten hat, ebenso wie der Bolus zwar zur Hauptsache nicht in Spalten, sondern in Höhlungen auftritt. Dagegen läßt sich seiner Ansicht, nach welcher der Bolus ursprünglich farblos gewesen und erst später durch Eisenzufuhr in Lösung rot gefärbt worden sei, wieder zustimmen. Es soll dieses zur Diluvialzeit geschehen sein, also doch wohl unter dem Einfluß späterer Überdeckung, die das Material dafür geliefert hat.

Jedoch bevor wir auf unsere eigenen, durch unsere Untersuchungen sowie an Ort und Stelle gemachten Beobachtungen zusammenfassend eingehen, sei noch auf die von meinem verstorbenen Mitarbeiter gewonnenen Ansichten über die Bildungsbedingungen der Roterde hingewiesen, die er vor der Verarbeitung des analytischen Materials als Eindruck von seinen Geländebeobachtungen und auf Grund der äußerlichen Beschaffenheit des Probenmaterials niedergeschrieben hat. Es möge diese Einschaltung ganz besonders aus dem Grunde gestattet sein, um nicht nur meinen Mitarbeiter zum eigenen Wort kommen zu lassen, sondern um auch zum Ausdruck zu bringen, daß sich seine Mitarbeit nicht allein auf die Beteiligung an der chemischen Untersuchung erstreckt hat, sondern daß er auch unter Bildung eines selbständigen Urteils ständig lebhaftesten Anteil an der eigentlichen Erforschung des Roterdeproblems genommen hat.

Die Bodenverhältnisse der Alb sind keineswegs so einfach, führt er aus, wie man bei oberflächlicher Betrachtung vermuten möchte,

¹⁾ Vgl. die dementsprechenden Ausführungen auf den S. 204—208 dieses Beitrages.

da das Ausgangsmaterial, aus dem die Böden entstanden sind, nur an manchen Stellen der reine Jurakalk ist, während vielfach sonst die Böden aus jüngeren geologischen Bildungen hervorgegangen sind, die man unter dem Namen Albüberdeckung zusammenzufassen pflegt. Nur in dem Falle, wenn Kalkstein unmittelbar im Untergrunde ansteht, bildet sich typische Terra rossa, aber auch dann nicht immer, sondern es sind dazu noch eine Reihe von Voraussetzungen nötig. Der Bildungsvorgang der Roterde wird dabei folgendermaßen anzunehmen sein:

Als Illuvialbildung kommt er bei verhältnismäßig geringem Humusgehalt der Oberkrume, der nur eben genügt, um Eisen bei der durch den Kalkstein immer ziemlich neutral gehaltenen Bodenreaktion in Lösung zu bringen, in Frage. Da die Terra rossa im allgemeinen recht hohe Eisengehalte aufweist, die von Hause aus in den jetzt den Kalkstein überlagernden Bodenschichten kaum in solcher Menge vorhanden gewesen sein können, so ist anzunehmen, daß eine jetzt sich vorfindende Terra rossa das Illuvialprodukt einer bedeutend größeren Bodenmenge darstellt, als sie gegenwärtig den Illuvialhorizont überlagert. D. h. es muß während des Bodenbildungsprozesses eine dauernde, nur zeitweise durch Neuzufuhr von silikatischem Material unterbrochene Oberflächenabtragung stattgefunden haben, wobei das in den Untergrund wandernde und am Kalkstein festgehaltene Eisen sich selektiv anreichern muß. Im Extremfall finden wir heutzutage Roterden, bei denen die oberflächlichen Schichten vollkommen abgetragen worden sind und die roten Horizonte jetzt die Oberfläche bilden. Die Rolle der Bohnerze in der Terra rossa konnte auch jetzt noch nicht geklärt werden. Es erscheint durchaus nicht zweifelsfrei, daß sie, sei es zum eigentlichen Bildungsprozeß der Roterde gehören oder nachträglich darin durch Anreicherungsverfahren entstanden sind. Vielmehr gewann man im Gelände auch den Eindruck, daß diese Erze nicht mehr an ihrem jetzigen Bildungsorte lagern, sondern verschwemmt sind, und durch Abrollung ihre jetzige Gestalt erhalten haben, während das ursprüngliche Erz mehr oder weniger massig gewesen sein kann. Man vergleiche dazu auch das Vorkommen manganreicher Bohnerze in den Böden des devonischen Massenkalkes im rheinischen Schiefergebirge, wo die Herkunft dieser Gebilde aus den massigen Eisenmanganerzen der Umgebung, die echte, metasomatische Erze auf Kalkstein darstellen, wohl sicher ist. In diesem Falle könnte man sogar zu der Annahme gelangen, daß der hohe Eisengehalt solcher über dem Kalkstein ausgebreiteter Erze erst die Bildung der Terra rossa ermöglicht bzw. verstärkt hat.

Daran anschließend stellt er sieben Punkte auf, die ihm für die Bildung und Entstehung der Terra rossa als wesentlich erschienen sind:

1. Reiner Kalkstein. Das soll heißen, daß nicht nur die festen Kalksteinbänke aus möglichst reinem Calciumkarbonat bestehen, sondern daß in der gesamten Schichtenfolge tonige und mergelige Bänke möglichst fehlen. Wenn das nicht der Fall ist, werden bei der Auflösung des Kalksteins zu schnell und zu viele tonige Silikate als Rückstand verbleiben, als daß sich in dem gleichen Tempo das Eisen im Untergrunde ansammeln kann. Zugleich wird durch die Menge dieses Tones, wie auch durch die tonige Schicht im Kalkstein, die Wasserführung im Boden und Untergrund für die Bildung der Terra rossa ungünstig, indem einmal in dem tonigen Material die Illuvialhorizontbildung durch seine geringe Durchlässigkeit zu langsam vonstatten geht und auch die periodisch notwendige, tiefgründige Austrocknung nicht mehr stattfindet. Damit ist auch schon eine Reihe der anderen Punkte berührt, nämlich

2. durchlässiger Untergrund. Dieser ist notwendig, damit nicht durch stehendes Grundwasser die Ausscheidung von Eisen am Kalkstein verhindert wird und damit überhaupt der Oberboden im Durchschnitt des Jahres dauernd ziemlich trocken bleibt, wodurch die notwendigen Temperatur- und Vegetationsverhältnisse gewährleistet sind.

3. Starke oberflächliche Austrocknung und Erwärmung im Sommer. Diese führen einmal zur schnellen Zerstörung des Humus, d. h. sie verhindern die Bildung von Rendzina oder im Extremfall podsoliger Böden. Der Humusgehalt wird nicht höher, als daß dadurch eben das Eisen in Lösung gebracht wird. Zweitens wird durch die oberflächliche starke Austrocknung zeitweise ein Wandern der Bodenlösung nach oben hin verursacht, so daß die Bodenreaktion insgesamt dauernd neutral bis schwach alkalisch bleibt. Damit hätten wir gleichzeitig als

4. die Bedingung der schnellen Humuszerstörung festgestellt, die am besten durch

5. geringe Humusbildung unterstützt wird. So finden wir beispielsweise unter Wald kaum jemals Roterde, da hier der rasch angesammelte Humus den Boden viel zu sehr versauert.

6. Geringe Zufuhr von silikatischem Material. Diese Forderung wurde schon oben bei der Besprechung des Ausgangsgesteins gestellt, sie erstreckt sich aber auch darauf, daß nicht von anderem Orte durch Wind oder Wasser derartiges Material in übermäßiger Menge zugeführt wird. So erklärt es sich, daß an Stellen, wo größere Mengen von Albüberdeckungsgesteinen den Jurakalk überlagern, keine Terra rossa auftritt. Die Ursache hierfür ist natürlich, daß einer der obigen Punkte 2 bis 5 nicht eingehalten ist.

7. Oberflächliche Denudation. Auch hierauf wurde oben schon hingewiesen.

Damit wollen wir zu der Frage übergehen, in welcher Weise unsere Untersuchungen Aufschluß über das Alter der Spaltenausfüllungsmassen ergeben haben, oder, was dasselbe bedeutet, ist die Roterde der süddeutschen Verbreitungsgebiete eine fossile oder rezente Bildung? Diese Frage ist nicht ohne weiteres eindeutig zu beantworten, insofern wir ja erfahren haben, daß in den Spaltenausfüllungsmassen nicht nur Roterden von der Art der Terra rossa vorliegen, sondern ebensowohl auch Lehm- und Tonbildungen enthalten sind, die als solche nichts mit einer Roterde zu tun haben, nur in ihrer chemischen Zusammensetzung der Roterde sehr nahe kommen, ja z. T. von dieser in dieser Hinsicht gar nicht zu unterscheiden sind. Andererseits haben wir aber auch erkennen müssen, daß außerdem die Spaltenlehme und Tone in terra rossa-artige Gebilde übergehen können, so daß sicherlich Unterschiede in den Bildungsbedingungen der Kalkroterdevorkommen unseres Verbreitungsgebietes vorhanden sind.

Ohne nochmals auf die einzelnen Befunde unserer Untersuchungen eingehen zu wollen, sollen die in Rede stehenden Fragen möglichst generell beantwortet werden, und zwar schon um so mehr aus dem Grunde, weil, wie schon hervorgehoben, unsere Kalkroterdeuntersuchungen noch nicht ganz abgeschlossen vorliegen und somit der Ergänzung bedürfen. Dennoch glauben wir auf Grund des bisher herangezogenen Materials folgendes aussagen zu können. Die wirklichen oder eigentlichen Roterdevorkommnisse auf dem süddeutschen Muschelkalk sind als Illuvialhorizontbildungen anzusehen, denn ihre chemische Zusammensetzung sowie auch ihre sonstige Beschaffenheit sprechen dafür. Sie sind aus den sie überdeckenden humosen Bodenbildungen als solche hervorgegangen. Aber auch die analogen Bildungen der schwäbischen und fränkischen Alb, soweit sie in den Kreis unserer Untersuchungen fallen, sind in gleicher Weise zu deuten. Wenn letztere Schlußfolgerung auch wohl weniger zwingend aus den schon im einzelnen dargelegten Gründen erscheint, so liegt dieses wohl daran, daß hier die Verunreinigungen größer und dementsprechend die Ausbildungsformen weniger scharf umrissen sind. Die eigentlichen Bohn-erzlehme und -tone aller Gebiete stellen sich dagegen lediglich als Einschwemmungsprodukte der aus der Albüberdeckung zu allen Zeiten hervorgegangenen Umwandlungsgebilde dar. Sie sind unzweifelhaft älteren Datums als die eigentlichen Roterden und verraten ihre besondere Natur durch ihre typischen Merkmale einer rein tonigen, z. T. auch bolusartigen Beschaffenheit, die sie von den krümelig ausgebildeten, erdigen Roterden deutlich unterscheidet. Gehen diese alten Lehme und Tone nach oben hin zu roterdeartigen Gebilden über, wie solches zwar nur seltener zu beobachten ist, so dürfte dieses als Folge eines älteren Bodenbildungsvorganges geschehen sein, der aber viel-

leicht von viel allgemeinerer Verbreitung gewesen ist, als dieses heute noch in Erscheinung tritt, da diese Ausbildung zumeist durch Einflüsse der Denudation zerstört wurde, so daß sie nur noch gelegentlich deutlich zu erkennen ist. Auch können wohl die Zufuhr neuer, andersartiger Albüberdeckungsmaterialien sowie Degradationserscheinungen zu ihrer Entstehung geführt haben. Als äquivalente Bildung der Roterde scheiden diese Bildungen aber aus. Man geht wohl nicht fehl, die Spaltenlehme, Spaltentone und Bohnerzlehme sowie ihre oberflächigen Umwandlungsprodukte als zur Hauptsache tertiären Alters anzusehen. Hinsichtlich der eigentlichen Roterden scheint solches aber fragwürdig zu sein, da sie, wie wir uns zu folgern gezwungen gesehen haben, als Illuvialhorizonte der rezenten humosen Bildungen, insbesondere der Rendzinaböden, zu deuten und aufzufassen sind. Wir kommen daher zu der schon von uns verschiedentlich geäußerten Ansicht von ihrem sehr viel jüngeren Alter, ja vielleicht sogar eines rezenten Alters. Wir haben daher nur noch zu prüfen, ob die sonstigen Roterdevorkommnisse innerhalb des humiden Klimabereiches von Deutschland einer solchen Auffassung vom Alter der Roterde entsprechen, d. h. ob wir diese sämtlich als junge Bodenformen zu betrachten haben, denn, wie wir doch erkannt haben, erweisen sich u. a. die aus den alten Lehmen und Tonen hervorgegangenen terra rossa-artigen Gebilde als fossilen Alters. Demzufolge müssen wir einen Blick auf unsere Kalkroterdeuntersuchungen im Gebiet West- und Mitteldeutschlands werfen, da diese hierfür besonders in Frage kommen dürften. Schon bei der Untersuchung der Roterden auf Zechsteinkalk bei Sooden-Allendorf a. d. Werra und auf Muschelkalk unweit von Göttingen mußten wir uns versagen, ein definitives Urteil über die fossile oder rezente Natur derselben abzugeben, nur unter besonders günstigen Aufschlußbedingungen ließ sich für ersteren Fall entnehmen, daß sie u. U. fossilen Alters sind. Die röt gefärbten tonigen Verwitterungsgebilde auf dem devonischen Massenkalk Westdeutschlands sind dagegen zumeist als durch metasomatische Verdrängung von Kalk durch Eisenzufuhr auf dem Massenkalk entstandene Bildungen anzusehen und wohl in ihrer chemischen Zusammensetzung der Terra rossa gleich, nicht aber ihrer sonstigen Beschaffenheit nach. Ihrem Alter nach sind sie von uns als fossile Bildungen aus der Tertiärzeit angesprochen worden, wie solches ja bisher für alle derartigen Bildungen im nördlichen Verbreitungsgebiet geschehen ist. Wieweit dieses aber als zutreffend angesehen werden darf, läßt sich heute noch nicht entscheiden, denn sicherlich ist der Roterdebildungsprozeß keine zeitlich bedingte Erscheinung, die lediglich klimatischen Bedingungen unterliegt, was neuerdings auch mehr und mehr Anerkennung finden dürfte¹⁾ und von

¹⁾ Vgl. u. a. A. Comel, La „terra rossa“ del Carso é un vero terreno clima-

dem einen von uns schon seit vielen Jahren verfochten worden ist. Roterde wird stets und ständig sich dort bilden, wo die Bedingungen dafür zutreffen und das ist immer dort der Fall, wo Kalk vorhanden ist und eine Zufuhr von Eisen stattfinden kann, was aber nicht lediglich von klimatischen Verhältnissen abhängt. Ein reiner Klimabodentyp ist die Terra rossa eben nicht und es ist infolgedessen durchaus nicht unmöglich, daß sie sich nicht auch heute noch in weit nördlicheren Gebieten auf Kalk vorfindet, als man bisher auf Grund der Auffassung von ihrer alleinigen Natur als Klimabildung für möglich hielt. Denn, wenn auch zugegeben werden muß, daß gewisse vom Klima abhängige Faktoren bis zu einem gewissen Grade gewährleistet sein müssen, worauf auch wiederholt von uns betonend hingewiesen worden ist, und welcher Umstand infolgedessen als ihre Entstehungsbedingungen besonders fördernd und für ihre typische Ausbildungsform hervorragend begünstigend angesehen werden muß, so sind diese Einflüsse doch nur als mittelbar wirksame Faktoren anzuerkennen, die den Roterdeprozeß unterstützen. Fehlt aber der Kalkuntergrund mit seinen nichtklimatisch bedingten Einflüssen, so kommt es dennoch nicht zur Ausbildung der Terra rossa. Auch liegt, wie schon E. Ramann¹⁾ stets verfochten hat, ein korrelatives Verhalten zwischen Klimaeinfluß und Kalk vor, was ihm dazu berechtigt erschien, vom Kalkgestein und Kalkboden als von einem warmen Substrat im Gegensatz zum Kieselsäure- oder sandigen Substrat zu sprechen. Wir kommen daher, allen derartigen Erwägungen sowie dem weitverbreiteten Auftreten roterdeartiger Bildungen Rechnung tragend, zu der Auffassung, daß die Roterde als jüngere oder selbst rezente Bildung weit mehr nach Norden reichen kann, als solches bisher angenommen worden ist. Dennoch möchten wir infolge des Umstandes, daß gerade unsere vorliegenden Untersuchungen in vieler Beziehung ein nicht gerade sehr einheitliches Bild von den genetischen Beziehungen der Roterdebildungen ergeben haben, unsere dahingehenden Schlußfolgerungen möglichst vorsichtig fassen, wie wir dies schon einmal bei anderer Gelegenheit getan haben, indem wir betonend zum Ausdruck bringen, daß es uns zwar noch nicht gelungen ist, die Verhältnisse so weit zu klären, um eine ganz bestimmte Antwort zu geben, aber doch stark der Ansicht zuneigen, in dem Vorkommen der Roterde auch in unseren Breiten eine Bodenform erkennen zu müssen, die sowohl fossil als auch rezent sein kann. Damit verwischen sich nun aber die bisher angenommenen Altersgegensätze, die uns durch die Bodentypenlehre

tico? Bodenkundl. Forschungen 2, 277 (1931). M. Gračanin, Bodenkundliche Untersuchungen des Heidegebietes von Ličko Polje. Poljoprivredna Karžnina. Zagreb, 1931.

¹⁾ E. Ramann, Bodenbildung und Bodeneinteilung. Berlin 1918, S. 83.

übermittelt worden sind, und lassen uns in der Beurteilung derartiger Fragen vorsichtiger werden, denn je mehr man in die Gesetzmäßigkeiten der Naturgeschehnisse einzudringen sucht, findet man ja immer wieder, daß die Übergänge das allein Gesetzmäßige ausmachen, nicht aber die Gegensätze. Letztere werden zwar wohl anfangs am meisten beobachtet und erkannt, sie bilden daher den Ausgangspunkt der Erkenntnis und werden als mehr oder weniger feststehende Tatsachen hingestellt, aber die nähere Vertrautheit mit ihnen nimmt ihnen ihre Sonderstellung.

Wenn es nun aber auch nach unseren vorliegenden Untersuchungen wohl den berechtigten Anschein erweckt, daß die Kalkroterde im humiden Verbreitungsgebiet Deutschlands u. U. eine sehr junge Bildung darstellt, jedoch andererseits auch außerdem als ein zur Tertiärzeit hervorgegangenes Gebilde zur Entstehung gelangt, so verwittern doch die Kalksteine unter den heutigen Klimaverhältnissen dieses Gebietes zumeist zu einem wesentlich anderen Produkt, wofür ja genügend Beispiele zur Verfügung stehen. Diesem Produkt ist aber bisher mit Recht noch niemals seine rezente Natur strittig gemacht worden. Daraus könnte nun aber leicht gefolgert werden, daß die eventuell rezente Beschaffenheit der Roterde ein durchaus auf schwachen Füßen stehendes Postulat sei. Demgegenüber muß jedoch betont werden, daß ein derartiger Einwand insofern als durchaus unberechtigt erscheint, weil der sog. „normale“ Verwitterungsvorgang der Kalkgesteine gar nichts mit dem Roterdebildungsprozeß an sich zu tun hat, denn dieser gibt sich als eine ganz besondere Erscheinung wieder, denn wäre dieses nicht der Fall, so müßten wir ja überall auf Kalk Roterde haben, was aber bekanntermaßen wieder durchaus nicht zutrifft. Der Roterdeprozeß kommt eben nur dann zur Auslösung, wenn eine Zufuhr von Eisen gewährleistet ist, was jedoch immerhin eine Besonderheit darstellt. Demzufolge würde auch die Schlußfolgerung verfehlt sein, glauben oder annehmen zu müssen, daß sich auf Kalk zur Vorzeit nur Roterden hätten ausbilden können, dies trifft sicherlich ebenfalls nicht zu, wie schon einerseits die Beschaffenheit der Albüberdeckungsprodukte zeigt. Allerdings darf dabei nicht vergessen werden, daß man bisher nur der Terra rossa als „fossilem Verwitterungsprodukt des Kalkgesteins“ seine Aufmerksamkeit geschenkt hat, nicht aber den „normalen Kalkverwitterungsprodukten“ jener vergangenen Zeit, so daß man in der Roterde gewissermaßen nur das „normale Verwitterungsprodukt zur Tertiärzeit“ erblicken zu müssen geglaubt hat. Hierzu trat dann noch der weitere, jedoch sehr naheliegende Trugschluß, nämlich auch die rot gefärbten tertiären Spaltenlehm- und Tonausfüllungen als solche aufzufassen. Ihre Rotfärbung ist aber gleichfalls sicherlich erst später geschehen, nämlich als sie sich schon in den Spalten und Höhlungen

des Kalksteins befanden, und auch der Akt, der hierzu geführt hat, ist nichts anderes als ein Vorgang, der wiederum mit demjenigen der Terra rossa-Bildung gemeinsame Züge aufweist. Bedenkt man nun ferner, daß viele andere Umstände, und zwar ganz besonders in einem stark abgetragenen Oberflächengebiet, das dauernd der Abtragung unterworfen war und ist, noch hinzukommen, und doch nur in einem solchen Gebiet treffen wir unsere Bildungen an, so ist es durchaus verständlich, wenn die sich bildenden Endprodukte der Umwandlung recht verschieden ausfallen mußten, da Wind und Wasser für ihre Versorgung mit anderen Materialien reichlich Gelegenheit hatten. Das erklärt denn nun auch die uns in unseren Untersuchungen entgegentretenden vielfachen Widersprüche in ihrer Zusammensetzung, was wiederum notgedrungen die aus den chemischen Befunden zu ziehenden Folgerungen beeinträchtigt hat. Aus allen diesen Gründen und Erwägungen liegt die Ergründung des Auftretens und des Zustandekommens der Roterden nicht so unmittelbar auf der Hand, wie man wohl meinen könnte, so daß selbst die überreichlichen Bemühungen auf diesem Gebiete geologisch-bodenkundlicher Forschung immer noch nicht von vollem Erfolg begleitet worden sind.

Wenn hiermit vorstehende Erörterungen vorläufig auch als abgeschlossen bzw. abgebrochen gelten müssen, da kein weiteres chemisches Untersuchungsmaterial zur Interpretation mehr zur Verfügung steht, noch solches in absehbarer Zeit von uns beschafft werden kann, so muß doch ganz besonders darauf hingewiesen werden, daß auch die vorliegenden Ergebnisse nur zur Veröffentlichung haben gebracht werden können, weil Herr Kollege Alten in uneigennütziger Weise für die Durchführung einer sehr großen Anzahl von Analysen in seinem Institut Sorge getragen hat. Ohne sein bereitwilliges Entgegenkommen wäre es nicht möglich gewesen, die von Dr. Melville begonnene chemische Verarbeitung des reichlichen Probenmaterials bis zu diesem Abschluß zu bringen. Unser aufrichtigster und herzlichst gemeinter Dank sei daher auch an dieser Stelle Herrn Kollegen Alten ganz besonders zum Ausdruck gebracht.

Göttingen, im März 1943.

Uran in Kohlen und Torf.

Von

Josef Hoffmann.

Institut f. Chem. Techn. anorganischer Stoffe der
Technischen Hochschule Wien.

Im kambrischen Alaunschiefer kommt eine, der dickschieferigen Bogheadkohle ähnliche, leicht entzündbare Kohle vor, die niemals in zusammenhängenden Flözen, sondern gewöhnlich nur in einigen Zentimeter dicken, flachen, zerstreut liegenden Linsen auftritt: der

Kolm.

Diese in Närke und Västergötland, Südschweden abgebaute Kohlenart enthält nach C. Winkler: 60,24 C, 4,64 H, 3,50 O, 3,998 S, 4,85 H₂O mit 22,28 % Asche. Nach J. Landin wechselt die Zusammensetzung der Mineralsubstanzen: Fe₂O₃: 16,07 bis 19,65; Al₂O₃: 18,85 bis 21,14; Mn₂O₃: 0,09 bis 0,32; MgO: 1,33 bis 1,58; CaO: eine Spur bis 1,60; Alkalien: 3,98 bis 4,64; SO₃: 0,60 bis 1,71; SiO₂: 49,86 bis 54,79. Obgleich auch die Zusammensetzung anderer Kohlenarten schwankt, wird hervorgehoben, daß die Kolmasche uranhaltig ist; Landin fand den Urangehalt bei drei verschiedenen Kolmaschen: 0,92 bis 1,68 bzw. 2,87, woraus sich der Durchschnitt 0,405 % U₃O₄ ergab. Er nahm an, daß das Kolmuran von Organismen (1) ausgeschieden sei. Wiewohl der natürliche Urangehalt der lebenden Pflanzen und des Tieres nur sehr gering ist, kann es in ähnlicher Weise, wie es bei kolloidtransportierten Uran der Fluß- und Salzwässer der Fall ist(2), zu örtlichen Urananhäufungen kommen, die den relativ höheren Urangehalt des Kolm erklären könnten. Obgleich man den Radiumgehalt der Kohlearten bestimmen kann, ist ein Schluß auf den Urangehalt schon deshalb unmöglich, weil es sich um verhältnismäßig junge Bildungen handelt, die außerdem Auslaugungsprozessen unterworfen waren. Besteht die Kohlenasche meist hauptsächlich aus: Silikat-, Phosphat-, Titanat-, Calcium-, Magnesium-, Aluminium- sowie Eisenionen, so kennt man auch örtlich zufällig vorhandene, wie die des Arsens, Bariums, Bleis, Kupfers, Silbers, Gold, Nickel und Zink, und zwar nicht selten in solchen Mengen, daß sie von Pflanzenresten nicht herrühren können, zumal Arsen, Barium und Blei starke Pflanzengifte sind.

Ob sich Uran in Kohle vorfindet, ist bisher nicht untersucht worden. Es sind deshalb die nachstehenden Kohlearten geprüft worden, die dem Verfasser von Herrn Ing. G. Civran von der Versuchsanstalt für Brennstoffe und Feuerungsanlagen der Technischen Hochschule in Wien zur Verfügung gestellt wurden. Die Proben hatten den Vorzug, daß es sich um chemisch definiertes Material handelte, dessen Herkunft mit Ausnahme der Torfproben örtlich genau bestimmt ist.

1. Torf.

Die Bildung dieser jüngsten Kohlenart vollzieht sich noch heute vor unseren Augen; über den Urangehalt von Süßwasseralgen (2) wurde bereits berichtet. Geht man von der Vorstellung aus, daß der Kohlenstoffgehalt einer Kohlenart mit für den Urangehalt ausschlaggebend sein könnte, so müßte entsprechend der Zusammensetzung, z. T. dem Alter nach,

Steinkohle, Karbon, 85, Braunkohle, Tertiär, 70, Torf, bis in die Gegenwart, 50% C,

Steinkohle die uranreichste und Torf die uranärmste sein.

Die untersuchte Torfprobe entstammt einem Torflager von Oberdonau. Die Stücke waren teils schneidbare, dichte Massen von braunkohlenähnlichen Aussehen, teils waren noch die pflanzlichen Substanzen feststellbar, aus denen der Torf entstand. Es wurden deshalb die verschieden vertorften Massen getrennt untersucht.

a) Torfmassen, in denen Torfmoos, Gräser und Astteile erkennbar waren.

Benutzte Mengen: 1,0000 g Torfmasse, 1,0000 g NaF, Gewicht der aktivierten Gläser, 25 mg NaF, welche letzten beide Mengen auch späterhin beibehalten sind. Fluoreszenzstärke der aktivierten Gläser: etwa 10^{-9} gU, woraus sich ergab:

$$40 \cdot 10^{-9} \text{ gU} / 1,0000 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ gU/g Torfmasse} = 4 \cdot 10^{-6} \% \text{ U.}$$

b) Homogene, braunkohlenartige Torfmasse, Schnittfläche fettglänzend schwärzlich.

Mit Rücksicht auf die sichere Bestimmung des Aschengehaltes wurde die Urankonzentration der Asche und des Torfes bestimmt.

2,0000 g Torf, mit 0,01965 g Asche; Fluoreszenzstärke $5 \cdot 10^{-8}$ gU/25 mg, enthielten somit:

$$200 \cdot 10^{-8} \text{ gU} / 0,01965 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ gU/g Torfasche} = 1 \cdot 10^{-2} \% \text{ U,}$$

bzw.

$$200 \cdot 10^{-8} \text{ gU} / 2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Torfsubstanz} = 1 \cdot 10^{-4} \% \text{ U.}$$

2. Hitler-, früher Masaryk-Kohle, Pilsen.

2,1046 g Kohle ergaben 0,3710 g = 17,62 % Asche mit 14,66 % SiO₂. Bei der Extraktion der Asche mit Salpetersäure verblieb ein Rückstand, der mit Alkalikarbonat aufgeschlossen, die gleiche Menge Uran wie im säurelöslichen Anteil enthielt. Nach der Fällung mit Schwefelwasserstoff und der Adsorption der Phosphorsäure¹⁾ entsprach in beiden Fraktionen die Fluoreszenz 2,10⁻⁷ gU/25, woraus sich ergab:

$$40 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \text{ gU} / 0,371 = 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Asche} = 4,31 \cdot 10^{-3} \% \text{ U}$$

bzw.

$$40 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \text{ gU} / 2,1046 = 7,60 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Kohle} = 7,60 \cdot 10^{-4} \% \text{ U.}$$

Entsprechend den von der Versuchsanstalt zur Verfügung gestellten Analysenergebnissen: 64,55 % C 4,02 % H (unterer Heizwert: 6090), Feuchtigkeit 3,68 %, flüchtige Bestandteile: 27,55 % handelt es sich um eine Steinkohle, deren hoher Aschengehalt, wie oben zu ersehen ist, vorzugsweise durch 14,66 % SiO₂, der hauptsächlich Calamiten entstammen dürfte, bedingt ist.

3. Wolfsegger-Traunthalener Braunkohle.

1,3343 g Kohle ergaben 0,1815 g = 13,62 % Asche, somit weniger als die Pilsner Steinkohle. Es wurde wieder in 2 Fraktionen gearbeitet: a) in der salpetersauren Lösung, sowie b) im Lösungsrest, der mit Alkalikarbonat aufgeschlossen wurde. Zur genaueren Bestimmung der Fluoreszenzstärke mußte in der Fraktion a) die Fluoridmenge ausnahmsweise verdoppelt werden (2,0000 g).

a) Salpetersaure Lösung:

Entsprechend der Fluoreszenzstärke 3,10⁻⁸ gU/25 lag vor:

$$2 \cdot 40 \cdot 3 \cdot 10^{-8} \text{ gU} / 1,3343 = 1,799, \text{ rund } 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Kohle} \\ = 1,8 \cdot 10^{-4} \% \text{ U.}$$

b) Aufschluß:

Infolge der Fluoreszenzstärke 5,10⁻⁸ gU betrug der bei a nicht gelöste Uranrest:

$$40 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ gU} / 1,3343 = 1,498, \text{ rund } 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Kohle} \\ = 1,5 \cdot 10^{-4} \% \text{ U.}$$

Die gesamte Uranmenge ergibt sich daher zu 3,297, rund 3,3 · 10⁻⁸ gU/g Kohle = 3,3 · 10⁻⁴ % U und die der Asche:

$$80 \cdot 3 \cdot 10^{-8} + 40 \cdot 5 \cdot 10^{-8} / 0,1815 = 2,42(4) \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Asche} \\ = 2,42 \cdot 10^{-3} \% \text{ U.}$$

¹⁾ Die chemischen Operationen wurden auch bei den folgenden Analysen unternommen, wo es nicht erwähnt wurde.

Mit der verschiedenen Zusammensetzung:

39,50% C, 3,10% H (Verbrennungswärme: 3830 kcal/kg, unterer Heizwert 3514), Feuchtigkeit = 24,93, der oben angegebenen Asche sowie 3,715% flüchtigen Substanzen, somit entsprechend der natürlichen Synthese der verschieden alten Kohleart ist gegenüber der Pilsener Steinkohle zwar die Größenordnung des Urans sowohl in der Kohlensubstanz wie in der Asche erhalten geblieben, doch enthält die Braunkohle nur etwa die Hälfte der Mengen der Pilsener Steinkohle.

4. Kohlenstaub, Beuthen.

Die Staubteilchen waren verschieden groß; die größten entsprachen 7 mm. 2,5714 Kohlenstaub ergaben 0,4379 g Asche = 17,03% mit nur 0,1500 g SiO_2 = 5,83%.

In der salpetersauren Lösung

lagen entsprechend der Fluoreszenzstärke $5,10^{-8}$ gU/25 vor:

$$40 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ gU}/2,5714 = 7,78 \cdot 10^{-7} \text{ gU/g Staub} = 7,78 \cdot 10^{-5} \% \text{ U, im}$$

Karbonataufschluß des Lösungsrückstandes

ergab sich $9 \cdot 10^{-8}$ gU, somit:

$40 \cdot 9 \cdot 10^{-8} \text{ gU}/2,5714 = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Staub} = 1,75 \cdot 10^{-4} \% \text{ U}$; der Gesamturangehalt des Kohlenstaubes beträgt daher 2'528, gekürzt: $2,53 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Kohlenstaub} = 2,53 \cdot 10^{-4} \% \text{ U}$. Infolge der verschiedenen Leuchtstärken der beiden Fraktionen ist der Urangehalt der Asche:

$$40 \cdot 5 + 9 \cdot 10^{-8} \text{ gU}/0,4379 = 1,37 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Asche} \\ = 1,37 \cdot 10^{-3} \% \text{ U.}$$

Im Beuthener Kohlenstaub, in dem sich die Werte ergaben:

64,45% C, 38,9% H (Verbrennungswärme 6128, unterer Heizwert 5870 kcal/kg), 3,25% Feuchtigkeit, die vorher angegebene Asche mit 27,59% flüchtigen Substanzen, liegen zwar sowohl im Kohlenstaub, wie in der Asche die gleichen Größenordnungen von Uran vor, doch ist die absolute Urankonzentration stets vermindert.

5. Oberschlesische Kohle.

Von 2,2299 g Kohle ergab sich 0,1503 g = 6,73% Asche mit 0,0602 g = 2,69% SiO_2 . Die Fluoreszenz der

salpetersauren Lösung

entsprach $5 \cdot 10^{-8}$, wonach vorlagen:

$$40 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \text{ gU}/2,2299 = 8,9 \cdot 10^{-7} \text{ gU/g Kohle} = 8,9 \cdot 10^{-5} \% \text{ U; im}$$

Karbonataufschluß des Rückstandes

war $9 \cdot 10^{-8}$ festzustellen, dem entsprach:

$$40 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \text{ gU}/2,2299 = 1,61 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Kohle} = 1,61 \cdot 10^{-4} \% \text{ U,}$$

wonach sich die gesamte Uranmenge mit $2,51 \cdot 10 \text{ gU/g Kohle} = 2,51 \cdot 10^{-4} \% \text{ U}$ ergibt. In der Asche ist entsprechend $9 + 5 \cdot 10^{-8} \text{ gU/25}$ enthalten:

$$40 \cdot 15 \cdot 10^{-8} \text{ gU/0,1503} = 3,72 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Asche} = 3,72 \cdot 10^{-3} \% \text{ U.}$$

Die oberschlesische Steinkohle, bei der sich ergaben:

74,78% C, 4,65% H (Verbrennungswärme 7302 kcal/kg, unterer Heizwert 7051), 3,15% Feuchtigkeit, 6,73% Asche und die flüchtigen Substanzen von 31,32% stimmt bezüglich der Uranmengen, Kohle sowie Asche, zwar größenordnungsmäßig überein, doch sind die absoluten Konzentrationen der oberschlesischen Kohle etwas vermindert.

Diskussion der Ergebnisse.

Ordnet man die Prozentzahlen der Asche untersuchter Kohlenproben mit ansteigenden Werten an, so ergibt sich:

Torf, 0,98; Steinkohle, Oberschlesien 6,73; Braunkohle, Wolfsegg 13,62, Steinkohle, Pilsen, 17,6; der durch mechanische Einflüsse entstandene Kohlenstaub, Beuthen mit 17,06 ist ein Zufallsprodukt. Man erkennt an der Reihung, daß auch die Aschenprozente von zufälligen Faktoren abhängig sein dürften, somit als spezifische Werte kaum gelten können. Ordnet man entsprechend der obigen Reihung die Uranwerte der Aschen an, so folgen aufeinander:

$1 \cdot 10^{-4} \text{ gU/g Torfasche}$, $3,72 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Steinkohlenasche}$, Oberschlesien, $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Braunkohlenasche}$, Wolfsegg, $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Steinkohlenasche}$, Pilsen und $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ gU/g Kohlenstaubasche}$, Beuthen.

Die Uranmenge der Torfasche, somit der jüngsten Kohle, überragt die übrigen Werte um eine volle Größenordnung. Die weiteren Uranwerte der Braun- und Steinkohlenaschen folgen nicht etwa so geregelt, daß anschließend die Braunkohlenasche und sich hierauf die Steinkohlenaschen reihen. Ordnet man die Uranwerte fortlaufend aneinander, so ergibt sich:

Vertorfte Pflanzenteile: $4 \cdot 10^{-8} \text{ gU/g}$; homogener Torf, $1 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g}$ oberschlesische Steinkohle, $2,51 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g}$; Kohlenstaub, Beuthen, $2,52 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g}$; Braunkohle, Wolfsegg, $3,3 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g}$ und Steinkohle, Pilsen, $7,6 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g}$.

Der niedrigste Uranwert der noch in Vertorfung begriffenen Pflanzenanteile erscheint naturgemäß, da diese Größenordnungen noch von lebenden Pflanzen erreicht werden, wie etwa Gräsern, und zwar der Ackerquecke, die in ihren assimilierenden Anteilen $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ gU/g}$ ergab. Auch bei Nadelgehölzen, wie etwa der Tanne, sind ähnliche Mengen ($3,29 \cdot 10^{-8} \text{ gU/g Stamm + Rinde}$) gefunden worden.

Während des Vertorfungs- bzw. Verkohlungsverganges stieg die Uranmenge stets bis zur Größenordnung 10^{-6} an:

Torf $1 \cdot 10^{-6}$ gU/g bis Steinkohle Pilsen, $7,6 \cdot 10^{-6}$ gU/g; wenn sich die Braunkohle mit $3,3 \cdot 10^{-6}$ gU/g zwischen der oberschlesischen und Pilsener Kohle einschleibt, so dürfte die Ursache an dem Pflanzenmaterial gelegen sein, das dem Verkohlungsprozeß unterworfen wurde, denn es enthalten u. a. Süßwasseralgen $3,27 \cdot 10^{-7}$ gU/g Trockensubstanz, 100⁰, wobei der Urangehalt der Asche auf $9 \cdot 10^{-6}$ gU/g Asche, somit nahe an 10^{-5} gU/g Asche erhöht wird. Weicht die Urankonzentration der Steinkohle, Pilsen, sowie der Asche auffälliger von den anderen Steinkohlenarten ab, so dürfte es durch den hohen Kieselsäuregehalt verursacht worden sein, da erfahrungsgemäß Uran an Kieselsäure günstiger adsorbieren kann.

Zusammenfassung.

Schwach vertorfte Pflanzen enthielten ähnliche Uranmengen, wie sie in lebenden Pflanzen vorzuliegen pflegen; während der Vertorfung bzw. Verkohlung steigt die Uranmenge sowohl im Verkohlungsprodukt, als deren Asche.

Schrifttum.

1. Gmelin, Handb. d. anorg. Chemie, 8. Aufl., Berlin 1936, Nr. 55, S. 6.
 - 2. Hoffmann, J., U in Algen. Naturwiss. 29, H. 27, 403/04 (1941). — Derselbe, U in Pflanzen. Bodenkunde u. Pflanzenernährung 26, H. 4/5, 318—327 (1942). — Derselbe, U im tier. Organismus. Wien. tierärztl. Mschr. 28, H. 24 (1941). — Derselbe, In Süßwasser gelöste und von Sediment mitgerissene U-Mengen. Chemie d. Erde 14 (1942).
-

Hydrothermale Zwischenstufen im Kristallisationsablauf von Tiefengesteinen.

Von

O. H. Erdmannsdörffer.

Mit 10 Abbildungen im Text.

A. Paragenesen von Plagioklas mit Mineralien der Zoisit- Epidotgruppe und Muskovit.

I.

Der magmatische Ablauf ist charakterisiert durch Kristallisation aus Lösung und durch Reaktionen zwischen kristallisiert und flüssig. Durch rein magmatische Bedingungen kann es zu Konzentrationsänderungen und Gleichgewichtsverschiebungen kommen. Sie äußern sich in den Zonenbildungen und in Rekurrenzen isomorpher Kristalle, in der Korrosion und Auflösung ausgeschiedener, und in der Bildung neuer Phasen, oft in ganzen Reaktionsreihen, wie Olivin → Rhombischer Pyroxen → monokliner Pyroxen → Hornblende → Biotit und ähnlichem.

Gleichgewichtsverschiebungen können auch durch äußere Einwirkungen zustande kommen: Wechsel im intrudierten Material nach Temperatur, Druck oder Konzentration, thermale Verschiebungen durch Auflösung fremder Einschlüsse, mechanische Bewegungen, die bis zu tektonitischen Ausmaßen führen können, u. a. m.

In allen Fällen ist von besonderer Wichtigkeit der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen; an sich erscheinen sie schon früh in den Bildungsabläufen der Eruptiva: F und Cl im Apatit, H₂O in Biotit, Hornblende u. dgl. m. Generell nimmt ihre Konzentration im Laufe des Verfestigungsvorganges zu. Durch Überschreitung von Grenzbereichen kann neben den bereits ausgeschiedenen Kristallen statt der endomagmatischen Flüssigkeitsphase auch fluide oder hydrothermale Lösung auftreten und jenes erste Stadium ablösen, wodurch spezifische Reaktionen und diesen entsprechende Mineralphasen entstehen können. Schwankungen in derartigen Grenzbereichen können das Gesamtsystem

abwechselnd in benachbarte Felder führen und so einen Wechsel nach der einen wie der anderen Richtung herbeiführen. Diese verschiedenen Zustände können mehrfach alternieren, je nach der „Unruhe“ des ganzen oft sehr zusammengesetzten Prozesses. Darauf habe ich für Odenwaldgesteine schon hingewiesen (1941, S. 16).

II.

Eine charakteristische Mineralkombination, die im Zusammenhang mit Plagioklasen auftritt, ist die von Muskovit mit Gliedern der Zoisit-Epidotgruppe (weiterhin als Muskovit-Zoisitparagenese = MZP bezeichnet). An der Natur des Glimmers als Kaliglimmer besteht kaum

noch ein Zweifel, die relative Beteiligung der verschiedenen Glieder der anderen Mineralreihe unterliegt einigem Wechsel, der in seinen Ursachen wohl noch nicht ganz aufgeklärt ist. Kalkspat ist in kleinen Mengen sehr oft vorhanden. Die am häufigsten behandelte Paragenese dieser Art ist die in den sog. „gefüllten Feldspäten“, die in so besonders reiner

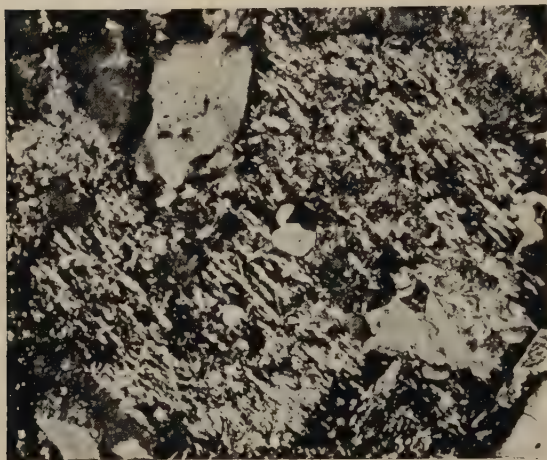


Abb. 1. Muskovitfüllung im Plagioklas; „Unreiner Granit“ Hesselbachtal b. Schönmünzach i. Murgtal (28210), $\times 75$, Nikols gekr.

Entwicklung in gewissen ostalpinen Gesteinen von vorwiegend granitisch-granodioritischer bis dioritisch-gabbroider Natur beobachtet worden sind, daß mehrere der Autoren, die sich mit ihr beschäftigt haben, für ihre Entstehung alpinorogene Bedingungen als wesentliche Voraussetzung ansehen.

Die MZP als solche ist aber keineswegs an diese Bedingung allein geknüpft, kommt vielmehr, wenn auch in nicht immer so klarer Gestaltung wie in den Alpen, auch bei Graniten u. a. unter Verhältnissen rein statischer Kristallisation vor.

Aus außeralpinen Graniten und Granodioriten bringe ich einige Beispiele:

Abb. 1 zeigt eine ausschließliche aus Muskovit bestehende und anscheinend gitterartig geregelte Füllung eines Plagioklases (An_{23}) im „unreinen Granit“ des Murgtales im nördlichen Schwarzwald.

Ähnliches findet sich auch in anderen Schwarzwälder Graniten (28210, 28253, 28210a u. a.)¹⁾ in wechselnder Vollkommenheit, wie auch im Odenwald, z. B. Flasergranit von Webern (An_{25}) (25082), Neun-



Abb. 2. Zoisitbesen und Muskovitblättchen (m) in Plagioklas; Übergangsgranit, Götzingen Höhe bei Neustadt i. Sa. (28314), $\times 250$, ohne Analysator.

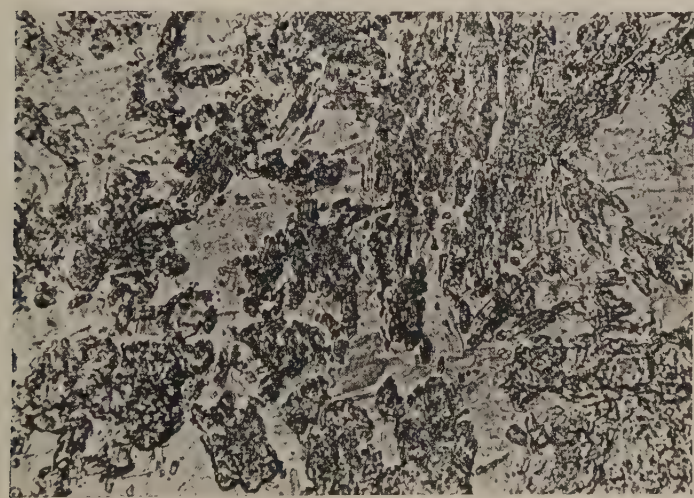


Abb. 3. Klnzoisit in Plagioklas; Lausitzer Granodiorit, Bertelsdorf b. Neustadt i. Sa. (28313), $\times 250$, ohne Analysator.

kircher Höhe (An_{25}) (25084b), Schenkenberg (22531). Es ist Christas „Typus A“ und im wesentlichen auf Granite, auch Aplite, beschränkt.

¹⁾ Diese Zahlen geben die Nummern der Schiffe und Handstücke in der Sammlung des Mineralogisch-Petrographischen Instituts Heidelberg.

Häufig ist die Paragenese Muskovit mit Zoisit. Dies Mineral tritt oft in feinen, skelettförmigen Einzelindividuen („Zoisitbesen“) auf (Abb. 2), auch in Gruppen oder subparallel zusammengefaßt oder zu Klumpen und Flecken geballt, die oft eine rohradiale Anordnung zeigen. Seltener sind einzelne größere kompakte Kristallkörner. Das Mengenverhältnis Muskovit:Zoisit scheint wenig konstant zu sein. Diese Kombination entspricht Christa's Typus D, z. T. vielleicht auch B.

Sehr viel häufiger ist die Anwesenheit von Klinozoisit, der den Zoisit in der Regel überwiegt oder ganz ersetzt (Christa's Typus C).

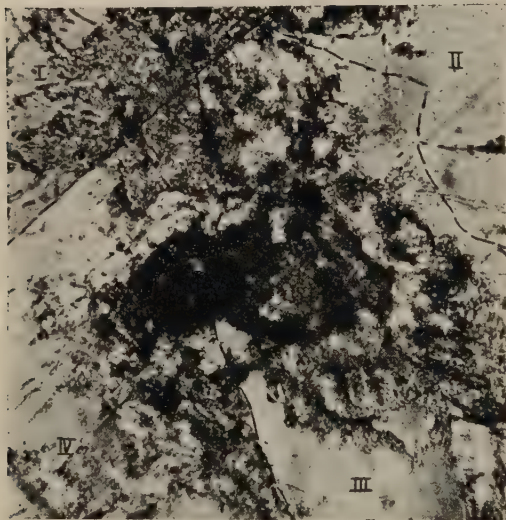


Abb. 4. Klnozoisit-Muskovit-„Gewächs“, über mehrere Plagioklasindividuen (I—IV) hinweggehend; Hornblendegranit, Tammerfors, Finnland (369), $\times 75$, ohne Analysator.

Abb. 3 zeigt eine charakteristische Gruppe dieser Art aus einem Plagioklas des Granodiorits von Bertelsdorf i. Sa. (Lausitzer Granit). Der An-Gehalt liegt zwischen 26 und 33 % in normaler Folge. Auch im „Übergangsgranit“ ($An_{43} \rightarrow_{28}$) von der Götzinger Höhe bei Neustadt i. Sa. findet sich diese Entwicklung. Äußere füllungsfreie Teile des Plagioklases werden gelegentlich von den innen gefüllten durch eine Zone mit Myrmekitstengeln getrennt, die \pm senkrecht auf der Grenze stehen.

Dagegen fehlen die MZP ganz in den Plagioklasen der Hybridgranite der Umgebung von Dresden.

Abb. 4 zeigt eine Klnozoisit-Muskovitgruppe in Hornblendegranit von Tammerfors in Finnland, die sich von den anderen dadurch unterscheidet, daß dieses „Gewächs“ über mehrere verschieden orientierte Plagioklaskristalle (I—IV, An_{30}) gleichmäßig hinwegwuchert.

Wo die Klnozoisite mengenmäßig stark hinter dem Muskovit zurücktreten, verstecken sie sich oft in dessen Gewebe und sind nicht leicht aufzufinden. Das ist oft in Gesteinen des Odenwaldes der Fall: Flasergranite von Knoden (26 603), Felsberg (25 085a), Melibokus (25 186), Auerbach (25 194a) in Plagioklasen mit An_{28} bis An_{23} ; in Dioriten ebendaher mit $An_{60} \rightarrow_{30}$; in sächsischen Graniten (Schneeberg (180), Weesenstein (193)), im „Redwitzit“ von

Redwitz in An_{53} bis An_{28} ; in Hornblendegranit vom Wehratal im Schwarzwald, An_{30} (305), in Graniten und Hornblendegraniten von Schottland $An_{36 \rightarrow 20}$ (240), von Canada (Abb. 5), Neusüdwaales, An_{47-28} (402), im Augitnorit von Harzburg, An_{75-60} (782) und an vielen anderen Orten.

Aus den Zentralmassiven der Westalpen sind gefüllte Feldspate bekannt, aber weniger beschrieben. In typischer Ausbildung fand ich sie in meinem Material vom Juliergranit (23722), Cristallinagranit (400), Aare- und Gotthardmassiv von zahlreichen Stellen (23721—24, 1850, 1853, 1854, Fibbiagneis 1846 u. a. m.), in den Protoginen des Mt. Blancmassivs (23738, 23757—23759). Dagegen fehlt die MZP ganz in den Tessiner Gneisen.

In skandinavischem Material fand ich sie sowohl in unveränderten Graniten (Östersund, Jemtland 251), Smaland (255), in Augengneisen von Ulvin am Mjösensee (19804, 19832, 8286) „Gneis“ von Jönköping (19815, mit schön gefüllten „Amöben“), in „geschieberten Graniten“ von Illsviken b. Drontheim (22781), Bekkervik, Hardanger (22870). Auch in einzelnen Abarten der Bornholmer Granite kommt Füllung vor (Paradisbakke-Hammer-Svanekegranite).

Der Zeitpunkt der Entstehung der Mikrolithen im magmatischen Ablauf ist dadurch gegeben, daß auch die gefüllten Plagioklase, genau wie ungefüllte in normalen Graniten, sehr häufig mit mehr oder weniger stark korrodierten Formen („Amöben“) im Kalifeldspat liegen. Das hat auch Christa aus Zillertaler Gesteinen beschrieben und abgebildet¹⁾. Ich fand an seinem Material, für dessen Überlassung

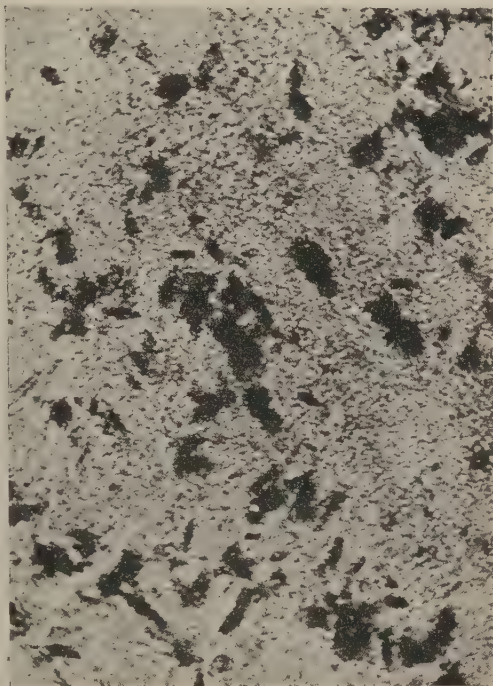


Abb. 5. Klinozoisit- und Zoisitflecken in muskovitgefülltem Plagioklas; Hornblendegranit, Shifton Rge. Canada (468) $\times 75$, ohne Analysator.

¹⁾ Diese Erscheinung hat bereits 1884 Th. Kjerulf beobachtet. Er spricht von den mit Muskovit- und Epidotmikrolithen „gespickten“ Feldspäten in

ich ihm auch hier herzlich danke, im Granodiorit vom Turnerkamp Klinozoisitstengel aus dem Plagioklas in den umhüllenden Mikroklin herausragend, und an anderen Stellen sowohl Muskovit- wie Klinozoisitmikrolithen aus dem Plagioklas herausgelöst frei im Mikroklin schwimmend.

An dem prämikroklinen Alter dieser Mineralsubstanzen ist also nicht zu zweifeln, auch da nicht, wo die Füllung in zentralen Teilen der Plagioklase sitzt und diese von einer mikrolithenfreien Zone umhüllt werden, die randlich von kleineren Quarzstengeln nach Art der „älteren“ Myrmekite durchsetzt wird, und nun ihrerseits auch von Mikroklin korrodiert erscheint.



Abb. 6. Muskovitring in Plagioklas; „Amphibolit“-einschluß in Hornblendegranit, Hirschkopf b. Weinheim a. d. Bergstr. (26526), $\times 40$, ohne Analysator.

Die Innenfüllung kann dem Zonenbau des Wirtes konform verlaufen, tut es aber in sehr vielen Fällen keineswegs; vielmehr gehen die Füllungsaggregate sehr oft gleichmäßig über alle Teile hinweg, oder sind völlig regellos, flammig, fleckig oder strähnig verteilt. Vor allem können sie auch in rein magmatischen Gesteinen über mehrere Plagioklase hinwegreichen (s. oben).

Eine ausgesprochene Zonenanordnung der Mikrolithen liefert Füllungsringe (Abb. 6). Sie können aus Muskovit oder Klinozoisit jeweils allein oder aus Gemengen beider in wechselnden Ver-

hältnissen bestehen. Auch ein Wechsel der Korngröße oder der Mineralzusammensetzung¹⁾ ist in zonarer Folge nicht selten. Für das Auftreten solcher Ringe ist ein ausgesprochener Zonenbau der Plagioklaskristalle selbst keineswegs Voraussetzung; gerade in den alpinen Gesteinen sind diese meist auffällig homogen. Die Ringbildung ist also in solchen Fällen nicht eine Abbildung

Granit und Gneisgranit von Ulvin und bildet eine mit Muskovit gefüllte Amöbe im Mikroklin ab. Ich fand das gleiche an meinem Material von dort.

¹⁾ Prehnit tritt selten als Kern in Klinozoisitfüllung auf (Granit Auerbach i. Od. (25194); Schneeberg i. Erzgeb., (180)). Die Zonenfolge von innen nach außen ist: Prehnit, Klinozoisit, Muskovit, einschlußfreier Plagioklas, bisweilen noch ein äußerer Serizitring.

von für eine solche Umwandlung stofflich besonders geeigneten Zonen des Plagioklases, sondern mag Folge einer zeitlich beschränkten Grenzreaktion im Verlauf des Kristallwachstums gewesen sein, die vielleicht manchmal mit einem Hiatus nach Art der Grenzen im Innern der Phantomquarze Ähnlichkeit hat. Wie bei diesen, kann auch in den Plagioklasen sich der Vorgang wiederholen, so daß konzentrisch verlaufender Serizit- u. a. Ringe entstehen.

Besonders auffällig ist diese Erscheinung da, wo die Ringbildung nicht an kristallographisch begrenzte Formen oder Zonen des Feldspates, sondern an unregelmäßig gerundete Oberflächen gebunden ist, die Lösungsformen darstellen (Abb. 7). Die Begrenzung der Ringe verläuft sowohl nach innen wie außen unscharf, diffus. Im Gegensatz



Abb. 7. Muskovitring (Lösungsform) um einen fleckig gefüllten Kern, während der äußere Rand fast frei ist; Mischgestein in Granit, Hettersbach b. Schriesheim i. Odenwald (26548), $\times 75$, Nikols gekr.

hierzu werden bisweilen muskovitgefüllte Felder an Zwillingsgrenzen der Plagioklase scharf abgeschnitten. Etwas Ähnliches bildete Drescher-Kaden ab.

Da die Plagioklassubstanz durch die lockeren Schleier der Mikrolithenschwärme hindurch meist ungestört sichtbar ist und ihrer Zusammensetzung bzw. ihrem zonaren Bau nach, wo er vorhanden ist, genau bestimmt werden kann, läßt sich feststellen, daß der oft starkem Wechsel unterworfenen Mineralbestand der Ringe, sowie deren Besetzungsdichte, innerhalb der einzelnen Plagioklase keine unmittelbare Abbildung des primären An-Gehaltes der isomorphen Schichtung ist. Eine solche Annahme würde in vielen Fällen einen starken Zonenbau des Ausgangskristalls voraussetzen, der aber sehr oft fehlt. Ins-

besondere wird eine starke Häufung von Zoisit in den randlichen Teilen der Plagioklase im Widerspruch mit deren im allgemeinen höherem Ab-Gehalt stehen. Ebenso wenig kann der Wechsel in der Dichte der Muskovitfüllung direkt mit dem ja stets nur geringen Or-Gehalt des Plagioklases in Parallele gesetzt werden.

In der Zusammensetzung der MZP tritt zwar, im großen betrachtet, d. h. für die Gesteinsreihe Granit-Gabbro insgesamt, hinsichtlich des relativen Mengenverhältnisses ihrer Gemengteile eine deutliche Abnahme von Muskovit und Zunahme der Kalkminerale vom granitischen zum gabbroiden Ende auf, im einzelnen aber herrschen offenbar lokale Bedingungen, die von der Natur der die Reaktionen hervorruhenden Lösungen abhängen, die ihrerseits zeitlich verschieden zusammengesetzt und temperiert und durch Zu- und Abfuhr wirksam gewesen sein mögen. Eine genaue Stoffbilanz der Lösungsumsätze, insbesondere die Frage über Beteiligung und Herkunft von CaO ist wohl noch nicht aufstellbar. Daher erscheint es auch mir, wenigstens für die magmatischen Vorkommen, fraglich, ob die von Angel gemachten Versuche einer Rekonstruktion eines Ausgangsplagioklases aus dem Streumaterial durchführbar ist. Sehr beachtenswert ist auch der von Eskola gegebene Hinweis auf die Möglichkeit des Durchgangs von Lösungen in das Gitterinnere der Plagioklase, wonach also nicht nur Grenzreaktionen vorliegen würden.

III.

Daß MZP nicht nur in metamorphe, sondern auch in rein magmatische Abläufe eingeschaltet sein kann, geht aus den angeführten Beispielen zur Genüge hervor. Auch Eskola betrachtet gefüllte Feldspäte als Produkte einer „autometamorphen“ Umwandlung in Erstarrungsgesteinen während ihrer Abkühlung, unter ziemlich komplizierter Mitwirkung von Stoffzu- und -abfuhr. Die Umrahmung gefüllter durch füllungs freie Teile deutet auf Fortsetzung der reinen Plagioklaskristallisation infolge von Temperatursteigerung (rückläufiger Kristallisationsgang). Kölbl läßt nach Abscheidung der Plagioklase hydrothermale bis pneumatolytische Restlösungen in und außerhalb der Eruptiva metasomatisch einwirken; der Übergang vom endomagmatischen her kann nach ihm durch äußere Faktoren herbeigeführt werden. Christa hält einen Zerfall des Plagioklases in statu nascendi unter wesentlicher Mitwirkung des Volumgesetzes für die Ursache der Füllung, legt diese also auch in den magmatischen Bereich.

Angel und Cornelius stellen dagegen die Bildung in einen metamorphen Ablauf, wobei Diaphthorese eine wesentliche Rolle spielt; also einen Tiefenstufenwechsel, der aber ebenfalls Zufuhr von H_2O und K_2O zur Voraussetzung hat. Diese sind aber nicht notwendigerweise magma-

tischer Herkunft („pseudojuvenile Entgasung der Tiefe“ nach Cornelius). Auch hierbei bedingen Temperaturschwankungen zonenmäßigen Aufbau und gegebenenfalls Rückkehr zu reiner Plagioklasabscheidung in den Randteilen.

Dieser Standpunkt ist begreiflich, wenn man den Weitergang der ihrer Struktur nach eindeutig magmatischen Gesteine der Zentralgranite usw. in den metamorphen Bereich betrachtet. Die Füllungs-substanzen überschreiten hier ihren Plagioklasuntergrund und gehen als blastische Glieder in das Gewebe des schiefrig werdenden Gesteins ein, wobei Bruchstücke von Klinozoisitringen als Relikte erhalten bleiben können, und sich ihnen andere Gemengteile, wie Biotit, Granat (diese auch schon gelegentlich als „unechte Füllung“ im Innern der Plagioklase vorhanden), Hornblende, Titanit normal beigesellen¹⁾. Es sind also die p t x-Bedingungen in manchen magmatischen und metamorphen Stadien gleichartig für gleiche Mineralassoziationen, und diese bis zu einem gewissen Grade von Durchbewegung unbeeinflußt, ein Tatbestand, der in manchen „Konvergenzen“ zwischen beiden seine Analogie findet. Koordination von Orogenese und Intrusion und ihre gegenseitige Wechselwirkung betont in diesem Sinne auch Christa, der so zur Annahme eines jungen (miozänen oder kretazischen?) Alters der Zentralgranite kommt, eine Auffassung, die auf anderem Wege auch Leitmeier gewonnen hat.

Warum die Entwicklung der „Füllung“ gerade in alpinen Gesteinen zu besonderer Klarheit führt, ist wohl noch nicht mit Sicherheit zu sagen.

Auf mögliche Analogien zu Verwitterungsvorgängen u. dgl. haben Christa und Cornelius hingewiesen. Hier kann auf diese Frage nicht weiter eingegangen werden.

Im Gegensatz zum Plagioklas, und abgesehen von Verwitterungsprodukten, ist der Kalifeldspat solcher Gesteine praktisch frei von Mikrolithen. Nur ganz vereinzelt führt er einmal sehr winzige und dünn verteilte Kristalliten von Zoisit und Muskovit, die denen des Plagioklases analog zu sein scheinen (porphyrtartiger Granit vom NW-Fuß des Vorderen Horns, Zillertaler Alpen). Die Winzigkeit des Vorkommens, das also zeitlich von der Füllung des Plagioklases verschieden ist, läßt es möglich erscheinen, daß in diesem Falle eine lokale Entmischung aus dem Or- und An-Gehalt des Kalifeldspates selbst vorliegt. Die postmikrokline „stürmische“ Bildung großer Mengen von Muskovit, wie sie in Zweiglimmer- und Muskovitgraniten vorliegen, ist ein Akt für sich, der in einen späteren Abschnitt des Hydrothermalbereiches fällt.

¹⁾ Hier sind auch die Beobachtungen von C. Andreatta über Regelung von Mikrolithen von Bedeutung.

B. Paragenese von Biotit mit Mineralien der Zoisit-Epidotgruppe.

Eine räumliche Verknüpfung von Biotit mit Gliedern der Zoisit-Epidotgruppe¹⁾ ist in diesem Zusammenhang deswegen von besonderem Interesse, weil sie die in vorigem Abschnitt A. als möglich hingestellte Wanderung von CaO im Bereich der hydrothermalen Zwischenreaktionen hier als notwendig erscheinen läßt.

Das Auftreten der ZE-Mineralie im Biotit findet in 2 Formen statt:

1. Spindeln (Abb. 8), die aus feinstengeligen, oft divergentstrahlig („zopfartig“) angeordneten Einzelindividuen bestehen und eine deutliche mechanische Aufbauchung des sie beherbergenden Glimmers verursacht haben. Sie können innerhalb der Biotitkristalle einzeln oder in Gruppen auftreten; in diesem Falle kann der Biotit zwischen ihnen in feinste Blättchen förmlich aufgefaserter werden.



Abb. 8. Klinozoisitspindeln in Biotit. Granit Schenkenberg b. Lindenfels i. Od.,
× 65.

Ihrer mineralogischen Natur nach sind sie recht mannigfach: Zoisit kann vorhanden sein, Klinozoisit wiegt aber unbedingt vor und geht durch Fe-Aufnahme in Pistazit über. Besonders interessant ist das Auftreten von Pumpellyit (intensiv grüne stark pleochroitische Stengel, 2 $E\gamma$ klein mit starker Dispersion, $b = \beta$).

2. Dünne sehr flache Linsen und Platten aus einheitlichen Kristallen von Zoisit oder Klinozoisit bestehend. Sie liegen mit (100) in (001) der Biotits, $a \perp (100)$, opt +, 2 V wechselnd, meist klein. Eine Aufblätterung der Glimmer ist hier nicht zu beobachten.

Diese eigentümliche Symbiose ist häufig und tritt in den verschiedensten Erstarrungsgesteinen auf. Sehr weit ist sie in den Graniten, Dioriten, Gabbros und Hypersthengabbros des Odenwaldes verbreitet, in Graniten und Syeniten des Schwarzwaldes, im Fichtelgebirge, Finnland, Schottland u. a. Eine Abhängigkeit von einem Hornblende- oder Pyroxengehalt der Gesteine besteht nicht, reine Biotitgranite enthalten sie ebenso typisch wie Hornblendegranite, Diorite u. a. Ein extrem klinozoisitreiches Beispiel aus einem Diorit zeigt Abb. 9.

¹⁾ Im folgenden als ZE-Mineralie bezeichnet.

Der Zeitpunkt der Einwanderung der ZE-Mineralen in den Biotit, denn nur um eine solche kann es sich handeln, läßt sich mehrfach fest-

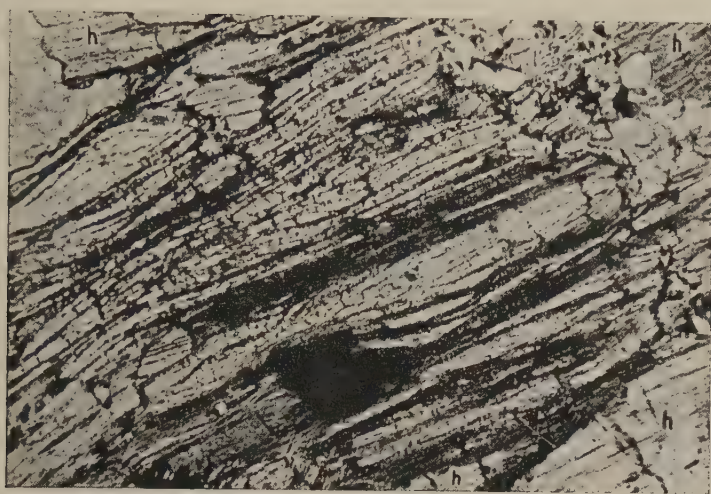


Abb. 9. Klnozoisitspindeln in Biotit, der stark aufgeblättert ist; daneben Hornblende (h) und Erzkörner. Diorit Seidenbuch i. Od. (28588), $\times 75$, ohne Analysator.

legen. Abb. 10 zeigt aus einem Odenwälder Diorit (dessen Plagioklase gute MZ-Füllung besitzen), wie Biotit und seine Spindeln gleichzeitig vom Quarz des Granits korrodiert wurden, ein Vorgang, der also jünger ist als die Bildung der Spindeln.

Ein „Amphibolit“-einschluß im Hornblendegranit des Hirschkopfes bei Weinheim i. Od. führt zahlreiche bis 2 cm große Megablasten von Mikroklin, die gespickt sind mit z. T. stark korrodierten Einschlüssen von Plagioklas, Hornblende und Biotit. Dieser letztere führt ebenso korrodierte Spindeln von Klnozoisit, Epidot und Pumpellyit, wie sie sich auch in den Biotiten außerhalb des Mikroklin zeigen. Hier ist also die Bildung der Spindeln der des Mikroklin vorausgegangen, ebenso wie die MZ-Bildung in den gefüllten Plagioklasen.

Biotiteinschlüsse in Hornblende sind ohne Zoisitspindeln; wie die

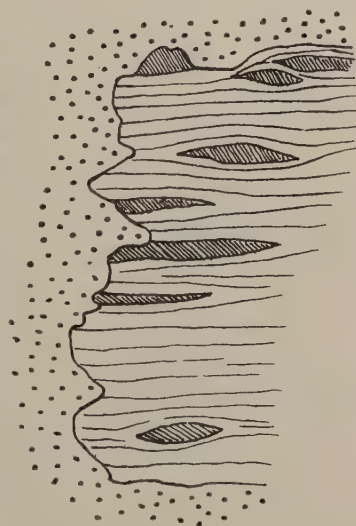


Abb. 10. Biotit mit Klnozoisitlinsen, beide von Quarz (punktiert) korrodiert; Diorit Märkerwald b. Gro-nau i. Od. (26580), $\times 150$.

Verhältnisse bei Plagioklas liegen, war nicht eindeutig festzustellen.

Wo Biotite mit solcher „Füllung“ frei im Granitquarz liegen, kann es zu einer weiteren Reaktion kommen (die wohl auch durch eine Temperaturänderung bedingt ist), durch die der Biotit stärker angegriffen wird als die Spindeln, so daß diese dann in Gruppen oder isoliert herausgelöst in Quarz schwimmen, allenfalls noch schmalste Biotitblättchen in ihrem Innern enthaltend.

Unabhängig von dieser Isolierung später gebildeter ZE-Mineralien sind Epidot- und Klnozoisitindividuen, die als größere \pm idiomorphe Einzelkörner in Plagioklas, Mikroklin, bisweilen auch in Biotit eingeschlossen sind, wozu auch nicht selten größere Orthite, oft mit Klnozoisitrandzonen, kommen; sie liegen meist nur sporadisch in sehr vielen granitischen u. a. Gesteinen. Ihr Verhältnis zu den Spindeln entspricht etwa dem Gegensatz, den Angel zwischen den Plagioklasfüllungen und seinen „Großkornepidoten“ innerhalb gewisser Gesteine des Tauernkristallisationsbereiches hervorhebt. Auch hierin liegt eine Analogie zwischen magmatisch und metamorph.

Warum die ZE-Mineralie sich mit Vorliebe gerade in den ihnen stofflich so fern stehenden Biotiten ansiedeln, ist nicht sicher zu sagen (Kapillarkwirkung der Biotitspaltfugen?).

C. Allgemeines.

Aus den geschilderten Erscheinungen kann wohl mit einiger Sicherheit auf mehrfache Schwankungen der p t x -Bedingungen im Ablauf des späteren endomagmatischen Kristallisationsbereichs bei einer Reihe von Tiefengesteinen geschlossen werden. Vielleicht hängt auch die zeitliche Trennung der prämikroklinen Myrmekitbildungen von den nach der Mikroklinabscheidung sprossenden Myrmekitwarzen mit Schwankungen solcher Art zusammen. Auf den Parallelismus gewisser magmatischer und metamorpher Vorgänge ist neuerdings mehrfach hingewiesen worden (Drescher, Erdmannsdörffer, Eskola).

Das Auftreten von Ungleichgewichtserscheinungen, z. B. der Korrosion von Plagioklasen, im Spätablauf endomagmatischer Bereiche hat gelegentlich zu Versuchen geführt, solche Prozesse zeitlich und ursächlich mit äußeren geologischen Vorgängen im Verlauf der Erstarrungsgeschichte von Intrusivmassen zu koordinieren, oder sogar aus dem Auftreten solcher im petrographischen Strukturbild beobachteten Erscheinungen tektonische Geschehnisse abzuleiten (v. Bubnoff). So bestechend solche Annahmen sein können, so wenig sind sie eindeutig belegt. Denn ein solcher „Hiatus“ in der Kristallisationsfolge kann eine lediglich durch Löslichkeitsänderung bedingte Er-

scheinung sein, wie sie im Ablauf der Verfestigung derart komplexer Systeme etwas ganz Normales ist. Man wird auch nicht die Resorption von Olivin im Basalt und ähnliches als Korrelat äußerer, etwas tektonischer Einwirkungen ansprechen wollen, so wenig wie man etwa aus dem Auftreten zerbrochener und nur um Bruchteile von Millimetern verschobener Kristalliten in einem Erstarrungsgestein gleich auf eine orogen-tektonische Phase in deren Kristallisationsablauf wird schließen dürfen.

Das genauere Studium der Resultate von Schwankungen, wie sie hier beschrieben worden sind, wird zur Klärung und Trennung endo- und exogen bedingter Erscheinungen führen, und so Beiträge zu der Lösung des „Granitproblems“ in seinem weitesten Sinne liefern können.

Schrifttum.

1. C. Andreatta, Analisi strutturali di rocce metamorfiche. Period. d. Min. 4 (1933); 5 (1934). — 2. Fr. Angel, Mineralfazien u. Mineralzonen i. d. Ostalpen. Jb. Univ. Graz 1940. — 3. Derselbe, Über Plagioklasfüllungen u. ihre genet. Bedeutung. Mitt. Nat. Ver. Steierm. 67, 36 (1930). — 4. Barth-Correns-Eskola, Die Entstehung der Gesteine. Berlin 1939, S. 325. — 5. S. v. Bubnoff, Der Werdegang einer Eruptivmasse. Fortschr. d. Geol. u. Paläont. VII, 20, Berlin 1928. — 6. E. Christa, Das Gebiet des Ob. Zemmgrundes i. d. Zillerthaler Alpen. Jb. geol. Bundesanst. Wien 81, 533 (1931). — 7. Derselbe, Zur Frage der Mikrolithenschwärme in Plagioklasen. Schweiz. min.-petr. Mitt. 16, 290 (1936). — 8. H. P. Cornelius, Zur Deutung gefüllter Feldspäte. Schweiz. min.-petr. Mitt. 15, 4 (1935). — 9. Derselbe, Nochmals zur Deutung der gefüllten Feldspäte. Schweiz. min.-petr. Mitt. 17, 80 (1937). — 10. H. P. Cornelius u. E. Clar, Geologie des Großglocknergebietes I. Abh. Zweig. Wien, Reichsst. f. Bodenforschg 25 (1), 282 (1939). — 11. F. K. Drescher-Kaden, Beitr. z. K. d. Migmatit- u. Assimilationsbildungen, sowie der syntetischen Reaktionsformen. II. Über die schriftgranitische Kristallisation u. ihre Beziehung zur normalen Silikatmetasomatose granitischer Gesteine. Chemie d. Erde 14, 157 (1942). — 12. O. H. Erdmannsdörffer, Studien im Gneisgebirge des Schwarzwaldes. XI: Die Rolle der Anatexis. Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss. 1939, 7 Abh. — 13. Derselbe, Beitr. z. Petrogr. d. Odenwaldes. I. Schollen u. Mischgesteine im Schriesheimer Granit. Sitzgsber. Heidelberg. Akad. d. Wiss. 1941, 1 Abh. — 14. Derselbe, XIII. Über Granitstrukturen. Sitzgsber. Heidelberg. Akad. d. Wiss. 1943 (im Druck). — 15. Th. Kjerulf, Grundfelds profilet ved Mjøsens Sydende. Nyt. Mag. f. Naturvid. 29, 215 (1884). — 16. L. Kölbl, Das NO-Ende des Großvenedigermassivs. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. I, 141, 39 (1932). — 17. H. Leitmeier, Einige neue Mineralvorkommen i. Geb. des Habachtales. Ein Beitrag z. K. d. Entstehung der Zentralgranite d. Hohen Tauern. Min.-petr. Mitt. 53, 271 (1942).

Mineralogisch-petrographisches Institut
der Universität Heidelberg,

20. Juli 1943.

Buchbesprechungen.

Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl. Verlag Chemie G.m.b.H., Berlin 1941/42.

System Nr. 9 Schwefel, Teil A, Lieferung 1. 10 RM.

22 Kalium, Anhangband. Die Salze der organischen Ablagerungen und ihre Lösungen. 49 RM.

18 Antimon, Teil A, Lieferung 1. 35 RM.

68 Platin, Teil B, Lieferung 4. 16 RM.

Die Lieferung 1 des Schwefelbandes bringt in anregender Darstellung den geschichtlichen Teil dieses schon im frühen Altertum als Räuchermittel verwendeten Elementes.

Der Kalium-Anhangband führt den Titel: „Die Salze der ozeanischen Ablagerungen und ihre Lösungen.“ Wer aber darin eine Monographie dieser Salze und eine Darstellung ihrer Bildung suchen wollte, würde enttäuscht werden. Wegen des Vorkommens und der Eigenschaften der Salze wird auf die Bände verwiesen, in denen diese Salze bereits abgehandelt sind. Nur wo der betreffende Teil noch nicht erschienen ist, wie z. B. beim Calcium, werden kurze Mitteilungen gemacht und im übrigen auf den zukünftigen Band verwiesen. Auch bei den einfach zusammengesetzten Lösungen wird auf die anderen Bände verwiesen, denn die vorliegende Lieferung beschränkt sich auf die Systeme mit zwei oder mehr Kationen Na, K, Mg, Ca und einem oder beiden Anionen Cl und SO_4 mit und ohne H_2O . Es fehlen also Br, J, B, dagegen fanden saure und alkalische sowie nichtwässrige Lösungen Erwähnung. Diese Einschränkungen liegen in der Natur des Handbuches, sie wurden hier nur erwähnt, um zu unterstreichen, daß es sich nicht um eine in sich abgeschlossene Veröffentlichung, sondern um eine Teillieferung eines großen Werkes handelt. Als solche wird sie allen, die mit Salzlagerstätten zu tun haben, sehr willkommen sein, als die neueste Datensammlung und Literaturzusammenstellung auf diesem Gebiet. Ein Atlas mit 38 Tafeln ist als herausklappbarer Anhang beigegeben. Er bringt viele sehr erwünschte Figuren. Leider ist der Abschnitt „Die Methoden der graphischen Darstellung“ auf den im Text wiederholt durch Anmerkungen verwiesen wird, und der für viele Leser zum Verständnis der Figuren nützlich gewesen wäre, aus technischen Gründen weggeblieben. Er soll an einer später festzulegenden Stelle gebracht werden.

Die erste Lieferung des Antimonbandes bringt zunächst eine ausführliche Darstellung (46 Seiten) der geschichtlichen Entwicklung unserer Kenntnisse dieses schon sehr früh verarbeiteten aber erst spät als besonderes Element bekannten Metalles. Interessant wird für viele die Darstellung der Antimonthherapie in der Medizin von Paracelsus bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts sein. Mit besonderer Freude wird der zweite Teil, der das Vorkommen behandelt, von allen

Fachleuten begrüßt werden. H. Borchert hat erschöpfend und sehr sorgfältig alles zusammengestellt, was über Geochemie und Vorkommen bekannt ist. Mit besonderer Liebe ist die „Lagerstättenkundliche Stellung“ behandelt. In diesem Abschnitt findet man u. a. ein Kapitel über die Herkunft und den Charakter der natürlichen Lösungen, sowie eine ausführliche Darstellung über die zonale Verteilung in Lagerstätten der tiefen und der weniger tiefen Magmenherde. Diese letzte Lieferung des Gesamtwerkes zeigt, wie sehr die Redaktion des Handbuches bemüht ist, wie auf allen Gebieten, so auch besonders auf dem der Geochemie das große Werk ständig zu verbessern.

Die vierte Lieferung des Teiles B des Platins behandelt das elektrische Verhalten zu Ende, insbesondere die elektrolytische Abscheidung und das Verhalten als Elektrode in verschiedenartigen Lösungen und Schmelzen. Die Lieferung schließt mit dem chemischen Verhalten des Metalls, das ja bei der starken Benutzung von Platingeräten in den Laboratorien besonders wichtig ist. Correns.

H. Cloos, Geologie. Sammlung Götschen, Band 13. Walter de Gruyter Co., Berlin 1942. 144 S. mit 77 Abb. Preis geb. 1,62 RM.

Die Aufgabe, einen dem Laien verständlichen Überblick über das Gebiet der allgemeinen und speziellen Erdgeschichte im Umfang eines Götschenbändchens zu bieten, der zwar das allerwichtigste Tatsachenmaterial bringt, dieses aber auch wieder nicht nur oberflächlich aufzählt, ist von vornherein eigentlich nicht lösbar. Man muß, um eine Notlösung zu finden, entweder das Material bis zu äußerster Dürftigkeit herabmindern, oder — wie Cloos es getan hat — einige Kenntnisse in den angrenzenden Gebieten (Paläontologie, Mineralogie, Petrographie) und größere Abstraktionsfähigkeit beim Leser voraussetzen. Auch so bleibt die Gefahr des non multum sed multa noch bestehen, doch versteht es der Verfasser vorzüglich, sie durch geschickte Auswahl charakteristischer Beispiele soviel als möglich zu bannen.

Gegenüber älteren Versuchen im gleichen Rahmen, kommt hier die allgemeine Geologie — Petrogenese, endogene und exogene Dynamik, regional-geologische Einheiten und Geschehnisse — mehr zu ihrem Recht: sie nimmt die ganze erste Hälfte des Bändchens ein. Natürlich kann dabei nirgends tiefer auf die Dinge eingegangen werden, aber schon der gebotene flüchtige Überblick zeigt dem Anfänger, wie groß die Zahl der Probleme und Arbeitsgebiete im Bereiche der allgemeinen Geologie heute ist. Der Abschnitt über Verwitterung erscheint etwas unklar. Es sei gestattet, darauf hinzuweisen, daß die Bemerkung S. 47, das „Wasser, das selbst als Säure wirkt“ weder praktisch noch theoretisch einwandfrei ist und ebenso beruht die Behauptung, daß die kolloidalen Bestandteile der Verwitterungsböden Alkalien, „die sonst wegen ihrer Löslichkeit verloren gehen würden“ (ebenda) festhalten, auf einer zwar verbreiteten, aber bisher nicht irgendwie eingehender belegbaren Anschauung.

Die spezielle Erdgeschichte ist durchaus nicht schematisch behandelt. Man spürt überall das Bemühen des Autors, stets nur wenige für den entsprechenden Zeitabschnitt charakteristische Vorgänge hervorzuheben, wobei nicht immer nur die europäischen Verhältnisse Beachtung finden, wenngleich diese im Meso- und Känozoikum fast ausschließlich dargestellt werden, was pädagogisch durchaus gerechtfertigt erscheint.

Die zahlreichen klaren und plastischen Abbildungen beleben den Text außerordentlich. Sie haben zwar durch die notwendige starke Verkleinerung leider z. T. einiges an Deutlichkeit eingebüßt, doch macht sich dies — gerade wegen

ihrer zeichnerischen Schärfe — nur bei ganz wenigen wirklich störend bemerkbar (17, 50, 64). So bringt das Büchlein von Cloos in seinem engen Rahmen eine erstaunliche Fülle von Stoff und wird namentlich im Kreise von Schülern der höheren Lehranstalten, denen ja derzeit Erdgeschichte nur noch in sehr dürftigem Ausmaße geboten wird, sowie Studierenden, die sich über Geologie als über ein fernliegendes Randgebiet orientieren wollen, ein aufschlußreicher und anregender Vermittler zu einem ersten Überblick sein.

H. Schumann.

Zur Bildungsweise dioritischer Gesteine.

Von

F. K. Drescher-Kaden, Straßburg/Els.

Seit einer Reihe von Jahren wurde von mir und meinen Mitarbeitern die Rolle von Assimilations- und Migmatitvorgängen bei der Bildung granitischer Gesteine untersucht. Im Jahre 1936 gab ich eine Übersicht über die bearbeiteten Vorkommen und besprach insbesondere die Bedeutung der dioritischen Mischgesteine beim Zustandekommen von Magmen quarzdioritischer Zusammensetzung [1] sowie die Herleitung von Schollen und Einschlüssen quarzdioritischen Charakters in den Graniten aus den Rahmengesteinen der Umgebung der Massive. Hierbei wurde auf die zwischen den einzelnen Vorkommen bestehende Übereinstimmung hingewiesen, welche die Einheitlichkeit und Verbreitung dieser Vorgänge beweist.

Eines der ersten untersuchten Beispiele betraf die Dioritvorkommen von Fürstenstein im Bayerischen Wald. Ich kam 1924 zu dem Ergebnis, daß sich aus der Mischung der faziell verschiedenen Paratypen des Nebengesteins — von z. T. „hornfelsartigen“ Formen — mit dem jüngeren Granit die fraglichen dioritischen Gesteine bilden. Dabei beschränkte ich diese Aussage zunächst auf Fürstenstein. Ich betonte, daß die Fürstensteiner Gesteine keinesfalls als „Redwitzite“¹⁾ im Sinne von Willmann und Weinschenk — also als Lamprophyre — gedeutet werden dürften, sondern als metamorphe Glieder des Nebengesteins, welche fremd im aufdringenden Massivgranit liegen, aufzufassen wären.

Diese Ansicht wurde von H. Scholtz [3] bekämpft, von mir in einer Antwort an Hand neuer Beobachtungen, aufrechterhalten [4]. H. V. Graber [5] versuchte 1933 meine Gründe zu entkräften und erklärte die Diorite des Passauer Waldes als spezifische Quarzglimmerdiorite zwischen oligoklasitischen und quarzdioritischen Magmen stehend.

Neuerdings kommt A. Köhler in seinem Sammelreferat „Die moldanubischen Gesteine des Waldviertels und seiner Randgebiete“ [6]

¹⁾ Unter „Redwitzit“ wird wohl heute allgemein ein Migmatitkomplex verstanden.

ebenfalls auf die Genese der Diorite [5] zu sprechen. Nach dem Hinweis, daß die Entstehung von Syeniten, Dioriten, „Redwitziten“ Amphibol-(Biotit)-Graniten usw. aus Amphiboliten zuerst 1928¹⁾ [7] von H. V. Graber ausgesprochen sei, fährt er fort: „Gleichzeitig mit H. V. Graber haben auch einige Petrographen im Bayerischen Walde die Meinung geäußert, daß wir es bei solchen Vorkommen mit Mischprodukten zu tun haben. Diese Tatsache kann heute nicht bezweifelt werden. Daß auch durch Auflösen von anderen Gesteinen wie Dioriten, Gabbros (G. Fischer [8]), selbst von basischen Paragneisen ähnlicher chemischer Zusammensetzung gleiche Mischgesteine entstehen können, ist wohl selbstverständlich²⁾, wenn auch die von Graber widerlegte Annahme F. K. Dreschers [9], daß ähnliche Typen und selbst die Diorite durch Mischung eines Granites mit „Hornfelsen“ entstanden seien, auf unserem Gebiet nicht bestätigt werden konnte.“

Es ist zweifellos erfreulich, wenn hier die Bildungsmöglichkeiten von Mischgesteinen aus basischen Paragneisen unumwunden zugegeben werden. Es ist aber nicht verständlich, weshalb Migmatitbildungen zwischen Dioriten, Gabbros und basischen Paragesteinen offenbar für leichter möglich gehalten werden — weil ihre Entstehung „selbstverständlich“ sei —, als Diorit- usw. -bildungen aus Amphiboliten, welche als neue Erkenntnisse besonders erwähnt werden. Aus anderen Gebieten, z. B. aus Finnland, dem Odenwald, den Alpen (Oberengadin, Bergell [10], sind derartige Vorgänge schon länger bekannt und beschrieben.

Gerade in solchen Gebieten aber zeigt sich wegen der guten Aufschlußverhältnisse besonders deutlich, daß zwischen beiden Gesteinsarten keinerlei genereller Unterschied besteht, daß vielmehr Amphibolite in häufiger Wechsellagerung mit quarzreichen, feinkörnigen Biotitgesteinen, „Hornfelsen“ z. T. durch Migmatitisierung zu Hornblende-Dioriten bzw. Quarz-Glimmer-Dioriten werden können. Beide Ausgangstypen gehören den Rahmengesteinen des Granitkörpers an; der primäre Kalkgehalt ist für den Chemismus des entstehenden Gesteines in erster Linie maßgebend (vgl. Backlund [11]).

Grabers und Köhlers scharfe Trennung zwischen Amphiboliten und Hornfelsen ist somit nicht aufrecht zu erhalten. Dieser Gegensatz ist allzu künstlich und nicht frei von Willkür. Unsere „Hornfelse“ oder „hornfelsartigen Gesteine“ unterscheiden sich von den „Amphiboliten“ in ihrer genetischen Stellung sicherlich überhaupt nicht. Beide Ge-

¹⁾ Die fragliche Arbeit: Die Redwitzite und Engelburgite als Mischformen von Graniten und Amphiboliten befindet sich in den Mitt. d. geol. Ges. Wien, Bd. XXII, 1929, Wien 1930 und trägt den Schlußvermerk des Autors: Wien im März 1930.

²⁾ Von mir gesperrt. Dr.

steinsarten gehören den Rahmengesteinen des Granits an (s. auch die Hornblendegneise von Kalteneck) und sind durch Übergänge in der Hornblendeführung miteinander verbunden. Kalkärmere und kalkreichere Lagen der Rahmengesteine wechseln miteinander ab, gehören aber zum gleichen Bildungszyklus. Wenn ich die Kaltenecker konkordanten Gneisbänke mit Hornblendebänderung nicht als Amphibolite bezeichnete, was Graber vermerkt, sondern als „hornblendeführende Paragneise“, so geschah das aus den erwähnten genetischen Gründen. Der Ausdruck „Amphibolit“ ist genetisch viel zu unscharf, vorbelastet und vieldeutig, als daß man ihn bei solchen Erwägungen ohne nähere Bestimmung verwenden sollte (ähnlich dem Ausdruck „Grünstein“, dessen Gebrauch schon Broegger sarkastisch ablehnte).

Selbstverständlich können unter den Amphiboliten auch metamorphe basische Ergußgesteine, „vergrünte“ Basalte, Diabase oder ähnliche Bildungen sein. Das ist jedoch für die Vorkommen der Umgebung von Fürstenstein und Fürstenholz einstweilen nicht zu beweisen. Dagegen spricht die viel zu hohe Azidität dieser Gesteine sowie die unregelmäßige und zufällige Art des Auftretens, die den Gedanken an ehemalige zusammenhängende Eruptivbildungen so gut wie ausschließen. Dasselbe gilt für die Kaltenecker Hornblendegneise wegen ihrer geringmächtigen Wechsellagerung mit Biotitgneisen usw. sowie für den größten Teil der Pannholzvorkommen, aus strukturellen Gründen und wegen der zu hohen Azidität. Für chemische Umformungen, die Abfuhr von Kalk oder Zufuhr von SiO_2 etc. zur Folge hatten, überhaupt für stattgefundene Verschiebungen im Stoffbestand, welche mit der Deutung hypogener basischer Ausgangsgesteine verträglich wären, konnten bisher keine Anhaltspunkte gewonnen werden. Dagegen besteht größte Wahrscheinlichkeit dafür, daß die feinkörnigen Quarz-Biotit-Gesteine Fürstensteins und anderer Vorkommen lithogene Derivate metamorpher Grauwacken und Grauwackenschiefer sind. Das metamorphe Vogesendevon mit seinen Grauwacken liefert ganz ähnliche Typen wie Fürstenstein, ebenso die Grauwackenschollen der Greiffensteine im Erzgebirge und die Konglomeratbänke des Trubinaschekessels im Bergell. Daß bei solchen Gesteinen ein häufiger Wechsel im primären Kalkgehalt und demgemäß ein wechselnder Gehalt an Hornblende im metamorphen Zustand auftritt, wird kaum überraschen.

Ob die überwiegend Biotit führenden Formen biotitisierte Amphibolite sind oder primären Biotit enthalten, ist nur in seltenen Fällen sicher zu entscheiden. Biotitisierungsvorgänge dürfen nicht verallgemeinert werden. Auch die Hornblende-Glimmerflecken sind für solche Vorgänge kein sicheres Beweismittel. Im übrigen möchte ich aber Köhler auf die vor dem Weltkrieg erfolgten Kartierungen

des metamorphen Vogesendevons mit Grauwacken, Arkosen und Schalsteinen von Bücking und Wagner hinweisen, wo die feinkörnigen, Glimmer- und Hornblende führenden Gesteine synonym mit Hornfels oder Amphibolit, je nach dem Hornblendegehalt, bezeichnet werden . . . Wie will man feinkörnige Gesteine mit Quarzmosaik, Feldspatteil und durchlöcherten Biotiten, überwiegend biotit- und nur wenig hornblendeführend, Plagioklaskristalloblasten in erster, blastische Mikrokline in zweiter Ordnung zeigend, gelegentlich schiefzig, überwiegend aber massig ausgebildet, anders als metamorphe Hornfelse bezeichnen? Ich bin mir der Schwierigkeit, eine zutreffende Bezeichnungsweise für die Fürstensteiner Typen zu finden, völlig bewußt gewesen. Aus diesem Grunde habe ich in [4] S. 523 einen eigenen Abschnitt „Nomenklatorisches“ eingefügt, mit dem ich allerdings glauben durfte, Klarheit über meine Bezeichnungsweise und über den Unterschied meiner Gesteine zu echten Hornfelsen geschaffen zu haben.

Ich sagte: „Die zu Beginn des vorigen Abschnitts aufgeworfene Frage nach dem Unterschied zwischen den Fürstensteiner Schollentypen und echten Hornfelsen läßt sich nunmehr folgendermaßen beantworten. Echte Hornfelse werden in bekannter Weise bei im wesentlichen statischer Metamorphose — ohne vorhergegangene Regionalmetamorphose — gebildet. Sie sind aus Material entstanden, welches einer einmaligen Einwirkung metamorphosierender Vorgänge ausgesetzt war.“

„Die Fürstensteiner Gesteine sind aber teilweise (nicht bei allen nachweisbar) einer mehrfachen Metamorphose unterworfen gewesen, welche z. T. mit lebhafter Mobilisation im Gefüge unter Stoffzufuhr vor sich ging. Derartige zweifach metamorphe Gesteine (primär injektionsmetamorph — sekundär statisch-imbibitionsmetamorph) sind daher nicht mit Hornfelsen schlechthin gleichzustellen. Verschiedentlich wurden in dieser Abhandlung feinkörnige Typen mit Mosaikstruktur und granoblastischen Merkmalen hornfelsartig genannt, um einen Unterschied gegen echte Hornfelse zu haben. Ganz allgemein dürfte sich empfehlen, derartige Gesteine analog der Bildung Mischgranit als „Mischdiorit“ zu bezeichnen, oder einem schon 1894 geäußerten Vorschlag Broeggers zu folgen, Gesteine aus Quarz und Plagioklas in körniger Mischung, welche massig aussehende, umgewandelte Sedimente sind, als „Pseudodiorite“ zu bezeichnen“ ([12] S. 95 o.).

Auch andere Beobachter haben derartige Einschlüsse im Granit als Hornfelse bezeichnet. Wladimir Luczizky, in seiner Arbeit über die Einschlüsse des Kösseine-Granits [13], P. O. Böhmig bei der Beschreibung der Graniteinschlüsse des Greiffensteins [15] und unter vielen anderen G. Klemm in seinen zahlreichen Arbeiten über die Granite des Odenwaldes.

Gerade die Weiterverfolgung derartiger Gesteine in anderen Granitgebieten, ihr häufiges Auftreten in den Gneisen des Nebengesteins, in Übergangszonen des Granits sowie schließlich losgelöst in diesem selbst, hat die Richtigkeit der genetischen Ergebnisse ~~dar~~

Fürstensteiner Untersuchungen erbracht und darüber hinaus gezeigt, daß den Dioriten bzw. ihren Ausgangsgesteinen für allgemein-genetische Fragen bei der Magmenbildung besondere Bedeutung zukommt. Wenn daher Köhler der Ansicht ist, Graber habe sich durch seine Gegenargumente widerlegt, so kann ich dieser Meinung aus den erwähnten Gründen nicht beipflichten. Vor allem aber vermag ich die Beweisführung Grabers im einzelnen nicht anzuerkennen, da sie in wesentlichen Punkten das genannte Kernproblem unberücksichtigt läßt.

Ich hatte seinerzeit bei Erscheinen des Graberschen Artikels nicht den Eindruck methodologisch entscheidender Einwände und bin auch durch die Auffindung zahlreicher gleichartiger — aber besser abgeschlossener — Vorkommen an anderen Stellen (Grönland, Alpen) in der Richtigkeit meiner Auffassung in der Sache selbst so bestärkt worden, daß ich eine Stellungnahme angesichts der klaren Sachlage für unnötig hielt. Wenn Köhler indessen glaubt, die Grabersche Entgegnung bestünde zu Recht, so werde ich nicht länger schweigen, sondern nachträglich, wenn auch inzwischen zehn Jahre verstrichen sind und das Migmatitproblem inzwischen wesentlich gefördert wurde¹⁾, zu den Graberschen Einwänden Stellung nehmen. Ich werde das in dem Bewußtsein tun, daß dem Andenken des verdienten Gelehrten, der uns auf dem Gebiet unserer Wissenschaft viele neue Erkenntnisse beschert hat, jetzt und in Zukunft unsere Dankbarkeit gehört, auch in den Fällen, wo wir seine wissenschaftliche Meinung nicht teilen können. Ein völliges Übergehen der Darlegungen Grabers ist mir nach der Stellungnahme Köhlers bei der allgemeinen Bedeutung des Migmatitproblems aber nicht mehr möglich. Ich halte es für notwendig, spätere Bearbeiter auf die besonderen Züge der Fürstensteiner Gesteine sowie die allgemeine Verbreitung derartiger migmatitischer Typen erneut hinzuweisen²⁾.

1. Graber beginnt seine Darlegungen [5] mit einer kurzen Schilderung des Auftretens der dichten bis feinkörnigen dunkeln Diorite. Sie sind nach ihm schon im Felde von Amphiboliten, Porphyriten und manchen dunklen Gliedern des Gneisgebirges (Myloniten, echten Hornfelsen) leicht zu unterscheiden. Er fährt fort: „Die stets helleren und grobkörnigeren Redwitzite³⁾ jedoch sind Mischformen von Graniten mit den dichten Dioriten oder mit Amphiboliten.“

¹⁾ Vgl. die wichtigen Darlegungen P. Niggli zu diesen Fragen (Lit. 22).

²⁾ Da ich erst im Mai 1943 von der Wehrmacht zurückkam, war mir eine frühere Berücksichtigung der Köhlerschen Arbeit nicht möglich.

³⁾ Graber, ich selbst und neuerdings Köhler sind mehrfach für die Abschaffung der Bezeichnung „Redwitzit“ als dioritischer Gesteinstyp eingetreten. Wenn dieser Gesteinsname sich dennoch erhalten hat, so ist dafür in erster Linie die ungemeine Schlierigkeit und Unregelmäßigkeit derartiger Vorkommen verantwortlich, welche für einen migmatitischen Komplex, der eine Reihe in

Mit anderen Worten: durch eine Mischung mit Granit entsteht aus zwei verschiedenen, voneinander leicht unterscheidbaren, Ausgangsgesteinen derselbe neue Gesteinstyp, die (stets helleren und grobkörnigeren) „Redwitzite“. Es ist aber höchst unwahrscheinlich, daß innerhalb ein und desselben geologischen Bereichs auf zwei verschiedenen Wegen — Mischung von Granit einmal mit dem Tiefengestein Diorit oder mit dem metamorphen Produkt Amphibolit — der gleiche Gesteinstyp resultiert. Die „Redwitzite“ sind ihrem petrographischen Bestande nach Diorite. Nach der Auffassung Grabers würden also durch Mischung von Granit mit Diorit wieder Diorite entstehen. Das ist schwer einzusehen.

2. Die dunklen, dichten oder sehr feinkörnigen, gelegentlich etwas porphyrischen Diorite sind nach Graber echte Erstarrungsgesteine mit deutlicher Ausscheidungsfolge.

Die Behauptung, die Diorite seien echte Erstarrungsgesteine mit deutlicher Ausscheidungsfolge, zu Beginn einer Erforschung ihrer Genese aufgestellt, würde die Ergebnisse der Untersuchung über die Bildungsweise dieser Gesteine vorwegnehmen. Wenn sie als Erstarrungsgesteine aufgefaßt werden — also in der üblichen Weise als selbständige Magmen gelten — so hat man ihre Genese, welche man doch erst ergründen will, schon von Anfang an festgelegt. Die zahlreichen Anzeichen, welche eine Bildungsweise solcher „Magmen“ aus anderen Gesteinstypen wahrscheinlich machen, müssen jedoch jedem, der diese Gesteine gründlich untersucht, auffallen und legen den begründeten Verdacht auf eine andere Entstehungsweise nahe. Diese Merkmale sprechen eine zu beredte Sprache, als daß sie von der künftigen Forschung übergangen werden könnten. Graber ist der Ansicht, die Diorite seien magmatische Gesteine mit echter Ausscheidungsreihenfolge. Ich vermag dieser Meinung, besonders hinsichtlich der Erstarrungsstruktur, nicht zuzustimmen. Beispielsweise hält Graber das Gestein von der Paulusmühle bei Röhrnbach für einen geschieferten Diorit, „dessen Einsprenglinge und Grundmasse das Bild einer Erstarrung unter ziemlich heftiger Durchbewegung zeigen: straffe Regelung der Grundmassebiotite unter teilweisem Verlust ihrer Idiomorphie; Streckungshöfe an den Plagioklaseinsprenglingen werden vom Grundmassenstrom umflossen“. Die Deutung dieses Gesteins als intrusiver Diorit aber ist nicht möglich. Das ist nicht Auffassungssache, sondern läßt sich klar beweisen. Ich bin bereits im Jahre 1936 [1], S. 276) unter Hinweis auf die Grabersche Deutung auf dieses Vor-

Struktur und Stoffbestand sehr verschiedener dioritischer Typen hervorgebracht hat, eine kurze Benennung erforderlich macht. Nur in diesem Sinne und in Anführungszeichen ist diese Bezeichnungsweise für Migmatitkomplexe quarz-dioritischen Charakters noch empfehlenswert.

kommen eingegangen. Das Gestein der Paulusmühle ist ein feinkörniger, geschieferter Paragneis mit Injektionsadern und ausgewalzten Quarzlagen; es gehört als faziell abweichendes Glied zu den Grundgebirgsgneisen. In feinschichtigem Quarz-Biotitgrundgewebe liegen rotierte Plagioklase mit einem si-bildenden Korngefüge in ihrem Innern. Wäre das Gestein ein intrudierter Diorit, so hätten seine Verformungen, vor allem die Bildung der Injektionslagen und weitere metamorphe Merkmale nach seiner Erstarrung durch die Vorgänge bei der jüngeren, diskordanten Granitintrusion bewirkt werden müssen, was gänzlich unmöglich ist.

Immerhin billigt Graber diesem Gestein einige Anzeichen granoblastischer Struktur zu. Die andern dunklen, massigen oder wenig geregelten Diorittypen haben aber nach ihm „die Erstarrungsstruktur besser bewahrt“.

Was versteht nun Graber unter Erstarrungsstruktur? Idiomorphie der Biotite auch außerhalb der Plagioklaseinsprenglinge; Plagioklase mit korrodiertem basischen Kern und scharf abgesetztem, gelappten, grundmasseführenden Außensaum. „Die Biotiteinschlüsse sind idiomorph, die Grundmassebiotite dringen mit dem Material des Plagioklassaumes in die Korrosionstrichter ein.“ Solche Merkmale sind aber keineswegs typisch für Erstarrungsstrukturen. Gerade die letztgenannten Merkmale sind vielmehr beweisend für rein blastische Vorgänge. Die Plagioklasmäntel jedenfalls sind blastisch gewachsen unter Aufnahme reichlicher Grundmassekomponenten. Nun kann man aber keineswegs überall so klar zwischen Kern- und Mantelbildung unterscheiden. Eine große Zahl Plagioklase — Beispiele von mir abgebildet [4], S. 497, Taf. XLVIII, Fig. 1 —, sind völlig von Kornarten der Grundmasse erfüllt. Demgemäß sind auch die „Korrosionstrichter“ der Mäntel, für die sie von Graber gehalten werden, keine solchen, sondern blastische Wachstumsformen echter Kristalloblasten. Das alles sind keine Strukturmerkmale eines normalen Erstarrungsgesteins.

Weiter: korrodierte Plagioklaskerne sind nicht typisch für normale Erstarrungsgesteine. Paragesteinsschollen, im Granit eingebettet und erneut metamorphosiert, zeigen häufig korrodierte Plagioklaskerne. Ich habe sie in [17] beschrieben und in [10], S. 328 abgebildet. Weitere Beispiele korrodierter Plagioklaskerne in Schollen sind mir aus anderen alpinen Vorkommen, aus Grönland, Schlesien, dem Erzgebirge u. a. bekannt. Der sichere Beweis, daß es sich bei den Feldspäten um blastische Bildungen handelt, ergibt sich außer der weitverbreiteten Grundmassefüllung der Plagioklase aus dem Verhalten des Apatits, dessen Nadeln gelegentlich aus dem Plagioklasmantel heraus in das Grundgewebe hineinragen. Wären die Plagioklase Einsprenglinge, so

müßten bei der Bewegung der letzteren in der Schmelze die herausragenden Apatite abgebrochen sein...

Die gar nicht seltene Pflasterstruktur, die z. T. völlig zerfetzten, durchlöcherten Biotite, die ich in [4], S. 496/97 in Zeichnungen und Photos eigens abbildete, auf die aber Graber nicht zu sprechen kommt¹⁾, ergeben den sehr begründeten Verdacht, daß es sich um Migmatite mit z. T. erhaltenen Reliktstrukturen handelt. Meine mehrfachen eingehenden Schilderungen dieser Strukturmerkmale sollten darauf hinweisen.

Wie weit ist nun die sog. Erstarrungsstruktur, festgestellt durch die Idiomorphie der Biotite, zu genetischen Aussagen zu verwenden? Zunächst ist die behauptete Idiomorphie keine echte. Die Kristallflächen sind keine echten Flächen, sondern mangels skelettierender Metasomatose höchstens als „äußerlich wohlbegrenzt“ zu bezeichnen. Besonders bei U-Tisch-Beobachtung sind deutliche Korrosionsspuren zu erkennen. Zweitens ist man beim Auftreten solcher Idiomorphie nach meiner Meinung nicht berechtigt oder gar gezwungen, das betreffende Gestein als Erstarrungsgestein, als Abkömmling eines echten Magmas, anzusehen. Ich mache mich anheischig, in einer Reihe feinkörniger, einwandfreier Biotit-Paragneise aus deutschen Mittelgebirgen, den Alpen oder Grönland genau die gleichen wohlbegrenzten Biotite vorzuweisen. Im Granit eingebettete Schollen zeigen derartige Biotite häufig als Resultat der Umkristallisation. Schon Böhmig [15] beschreibt die im Granit der Greiffensteine eingebetteten Glimmerschiefereinschlüsse folgendermaßen: „Die (Glimmer-)Schuppen sind allseitig scharf umgrenzt; nirgends trifft man die, den dunklen Glimmern der kristallinen Schiefer charakteristischen ausgefranzten Formen. Viele der kleinsten Blättchen sind deutlich polygonal kontouriert, meist vier- oder sechseitig.“

Mit anderen Worten, die Idiomorphie der Glimmer ist kein Merkmal für Erstarrungsstruktur schlechthin. Stattgefundene Umkristallisation und spätere Gefügestaltung kann eine solche vortäuschen. Die in den Fürstensteiner Gesteinen recht oft anzutreffenden Relikte von Hornfels- und Pflasterstrukturen sind daher für die genetische Deutung besonders wichtig und keinesfalls als Merkmale eines Erstarrungsgesteines zu deuten, solange man Strukturbeobachtungen überhaupt

¹⁾ V. M. Goldschmidt, Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet, 1911, erklärt: „Der typische Hornfelsbiotit bildet dicke Tafeln meist ohne gesetzmäßige Randbegrenzung.“ Zumeist also, nicht immer und das ist gerade bei vielen dunklen Mischdioriten des Fürstensteiner Gebietes der Fall. Gute Randbegrenzung der Biotite und völlig unregelmäßige, dicke, durchlöchernde Formen kommen nebeneinander vor. Das Bild der Hornfelsklasse 3 — Aarvoldstal, a. a. O., Taf. 1 — zeigt unverkennbare Ähnlichkeit mit den Biotiten mancher feinkörniger Diorittypen Fürstensteins.

noch irgendwelchen genetischen Wert beimißt! Ich hatte seinerzeit, als Mitarbeiter von Prof. Klemm in Darmstadt, diesem die Pannholzschliffe vorgelegt. Er bestätigte mir vollkommen die Hornfelsstruktur und das idioblastische Verhalten der Plagioklase. Ich stehe also keineswegs allein mit meiner Deutung.

Eine weitere Form von Erstarrungsgefüge sieht Graber im mikropegmatitischen Verband zwischen Kalifeldspat, Plagioklas und Quarz, wie er nicht selten in den Pannholzdioriten, aber auch im Fürstenholz, bei Fürstenstein, Engelburg, Gestöcket, Namering, kurz, so gut wie in fast allen „dioritischen“ Gesteinen dieses und anderer Gebiete vorkommt.

Hierzu ist zu sagen: Die Ansicht, mikropegmatitische Struktur, Granophyrstruktur, myrmekitische Verwachsungen usw. seien kennzeichnend für Erstarrungsgesteine — also auf „Magmatite“ beschränkt — kann heute nicht mehr aufrecht erhalten werden. Die Entwicklung unserer Kenntnisse, welche meine Auffassung von 1930 durchaus bestätigt, geht vielmehr dahin, aus der Anwesenheit myrmekitischer und granophyrischer Strukturen auf metasomatische Vorgänge (Feldspatisierung vom Granit aus usw.) zu schließen, und diese sind selbstverständlich nicht nur auf Erstarrungsgesteine beschränkt. Man kann in vielen Fällen aus dem Vergleich umgewandelter Schollen im Granit mit ihrem Ausgangsgestein die Neubildung granophyrischer Strukturen durch den Granit mit völliger Sicherheit verfolgen (vgl. [10], S. 293, vor allem aber die wichtigen und inhaltsreichen Untersuchungen von O. H. Erdmannsdörffer [18]).

Ich möchte auch die Feststellung Grabers, in den Adamellogesteinen fänden sich Plagioklase mit kranzförmigen Anreicherungen von Erzteilchen in zonaren Hüllen späteren Wachstums, nicht als Beweis für Eruptivstruktur ansehen. Es ist nicht zu leugnen, daß auch in Eruptivgesteinen Weiterwachsen bestimmter Komponenten möglich ist und häufig stattfindet. Trotzdem wird man zugeben müssen, daß diese Formen in erster Linie blastische Merkmale sind.¹⁾ Das Auftreten solcher Strukturen in echten Tiefengesteinen besagt indessen nicht, daß diese Formen in statisch metamorphosierten Schollen, die im Granit eingebettet sind und von ihm aus mit Lösungen und gelösten Ionen versorgt werden, fehlen müssen. Zunächst sind diese Erscheinungen im Eruptivgestein und seinen Einschlüssen noch auseinanderzuhalten, gerade wegen der Möglichkeit, daß auch Gesteine wie der Adamello-Tonalit aus später mobilisierten, zunächst vielleicht nur überwiegend statisch veränderten Krustenteilen bestanden, bevor sie in einem neuen Faltungszyklus aktiviert und als Eruptivgestein in höhere Niveaus gepreßt wurden. Als einseitiges Strukturmerkmal von Tiefengesteinen kann man die fraglichen Wachstumsformen aus den genannten Gründen bestimmt nicht ansehen.

¹⁾ Bei genauerem Zusehen wird man aber in allen granitischen Gesteinen blastische Formen antreffen!

Der Titanitentstehung widmet Graber viel Raum. Auch ich muß näher auf diese genetisch wichtige Frage eingehen. Die Kenntnis der Titanitbildung scheint mir bedeutsam, weil wir damit über das geochemische Verhalten des Titans zutreffende Einblicke erlangen und damit zugleich Rückschlüsse auf die Genese der fraglichen Gesteine machen können.

Zunächst sind Graber und ich darin einig, daß der Titanit in den Dioriten niemals fehlt und einen wichtigen Gemengteil darstellt. Graber leitet den Titangehalt der „redwitzitischen“-Migmatit-Bildungen — vgl. auch Köhler, a. a. O., S. 258 — aus Amphiboliten ab, also aus den (Mg und Ca-reichen) Rahmengesteinen der jüngeren Granite.

Nach Graber aber sind die „Redwitzite“ ja auch Mischformen von Graniten mit dichten Dioriten. In diesem Fall hätten die Diorite den Titanit bereits mitgebracht und die allgemeine Lösung der Frage nach der Titanitherkunft in Tiefengesteinen wird dann wie so oft in einem tieferen Niveau gesucht werden müssen! . . . Daß der Titanitgehalt sehr wesentlich an das Vorhandensein primärer Paragesteine gebunden ist, ließ sich u. a. in [10], S. 250, Tab. 5 am Beispiel der metamorphosierten Diopsidquarzite des Bergeller Granits nachweisen.

Über die eigentliche Titanitentstehung gehen die Ansichten von Graber und mir gar nicht so weit auseinander. Er hat mich nur sehr mißverstanden. Er schreibt: „Die Ableitung des Titangehaltes dieser Mischformen (der Titanitfleckenredwitzite. Dr.) aus dem Granit ist entschieden falsch. Drescher und besonders Hegemann, die diese Ansicht unbekümmert um vorher und von anderer Seite veröffentlichte Beobachtungen [16] vertreten, übersehen, daß gerade die reinen Passauergranite wie die des Mühl- und Waldviertels sehr arm an Titanit und Orthit (bzw. Titan und seltenen Elementen) sind.“

In einer anderen Arbeit ([7], S. 22) schreibt Graber: „In den schneeweißen Adern des Kristallgranits von Obermühl erreichen die Mikrokline, aber auch die Titanite eine ansehnliche Größe (2 cm!); so kam die Täuschung zustande (Drescher), daß die Titanite und Orthite primär aus der Tiefe zugeführt wären.“

Hierzu ist zu sagen: Ich kenne den Kristallgranit von Obermühl nicht, habe nicht in diesem Gebiet gearbeitet und weder Titanite von 2 cm Länge aus Kristallgranitadern noch überhaupt das erwähnte Vorkommen irgendwo beschrieben. Die Täuschung liegt also nicht auf meiner Seite!

Ich habe keineswegs den Titanit der Diorite lediglich aus dem Granit abgeleitet und erwähne hierzu die folgenden Stellen aus meinen Arbeiten ([9], S. 46): „Die durch sämtliche Varietäten hindurchgehenden Titanitanreicherungen bilden keineswegs ein bloßes Kontaktprodukt im engeren Sinne. Durch die Zunahme

des Titanits in den sauren Gliedern, durch seine Rolle als Kluftbelag in den Dioriten des Bruches Schafreuth läßt sich seine spätere magmatische Zuführung erweisen. Diese muß sich über einen längeren Zeitraum erstreckt haben, da sich der Titanit in der Periode der Umkristallisation wie auch im Gefolge mechanischer Einwirkungen auf den bereits verfestigten Gesteinskörper als Auskleidung tektonischer Klüfte zeigt.“

Auf Grund der Titanitfüllung von Klüften glaubte ich damals an ein Überwiegen magmatischer Zufuhr; ich ließ aber daneben die Möglichkeit einer gewissen Aufnahme aus dem Nebengestein bestehen, (.., „keineswegs ein bloßes Kontaktprodukt“).

In [17], 1927, S. 252 schrieb ich: „In den Hornfelsen (und hornfelsartigen Mischbildungen), welche nachweislich sedimentären Ursprungs Schollen im Granit bilden, scheint mir aber der Titangehalt eher dem ehemaligen Sediment zu entstammen, da man in sehr großen (viele Kubikmeter enthaltenden) Schollen mancher Gebiete (z. B. Bergell) eine nahezu gleichmäßige Titanitverteilung in der Scholle beobachtet.“

Ebenda, S. 255: „Aus diesem Verhalten des Titanits können zwei Schlüsse gezogen werden: entweder war das Bildungsintervall des Titanits groß und hielt von der ersten Bewegungsphase, welche die Regelung der Gemengteile des Grundgewebes unter gleichzeitiger Zuführung injektiven Quarz-Plagioklasmaterials veranlaßte, an bis zu den pegmatitischen Imbibitionen des Passauer Waldgranits (letzte Bildung im Kluftbelag), oder — und das scheint mir das wahrscheinlichere — der Passauer Waldgranit fixierte durch seine Holoblasten die älteren, in Grundgewebe, Augen und Flecken längst abgeschlossenen Titanitbildungen, während er selbst durch teilweise Umschmelzung und Neuaufnahme zugänglichen Titanitmaterials aus den Schollen¹⁾ in den von ihm veranlaßten Flecken und Pegmatiten 2. Art eine sekundäre Titanitbildung hervorrufen konnte. (Es ist nicht ausgeschlossen, daß eine pneumatolytische Neuzuführung von Titansäure aus dem Passauer Waldgranit erfolgte. Eine sichere Entscheidung scheint mir zur Zeit noch nicht möglich).“

[4], 1930, S. 484. „Dort, wo die Apophysen Titanit enthalten, dürfte er aus dem Nebengestein aufgenommen worden sein.“

Ebendort, S. 498. „Titanit ist sehr häufig vertreten, doch findet er sich nie in kristallographisch gut begrenzten Formen, wie in den Titanitflecken-gesteinen des Fürstenholzes oder in Graniten, welche viel titanhaltige Sedimente resorbiert haben²⁾, sondern meist in Häufungen kleiner runder Körner...“

Es ist nach diesen Zitaten durchaus nicht so, daß ich den Titanit allein vom Granit ableite. Der primäre Titangehalt entstammt wohl sicher dem Nebengestein. Diese Ansicht habe ich mehrfach deutlich zum Ausdruck gebracht. Ebenso sicher aber ist, daß der Titanit durch granitische Lösungen über größere oder kleinere Strecken „magmatisch“ transportiert werden kann, wie die Titanitführung von „Injektions“-Adern, Gängen und Klüften zeigt.

Welche Anschauung über die Titanitgenese findet man in der Literatur?

¹⁾ Hier gesperrt. Dr.

²⁾ Hier gesperrt. Dr.

V. M. Goldschmidt [19], S. 473/75, schreibt: „Titanit findet sich in manchen Hornfelsen, wo er ohne Zufuhr von Titansäure gebildet wurde. An manchen Stellen ist er dagegen unter Mitwirkung pneumatolytischer Prozesse entstanden“ . . . Broegger fand roten Titanit in großer Menge im Kalksilikat-Hornfels von Gunildrud. Diese Gesteine sind aber nicht umgewandelte Sedimente, sondern kontaktmetamorphe Injektionsgänge vom Gangfolge des Essexits“ . . . „Auf manchen unserer Kontaktlagerstätten kommt Titanit so reichlich im Kalk vor, daß man an eine Zufuhr von Titansäure denken muß“ . . . „In der endomorphen Kontaktzone der Tiefengesteine ist Titanit stellenweise angereichert. Un¹ Einschlüsse von Kalksilikat-Hornfels herum ist der Syenit oft sehr reich an zentimetergroßen braunen Titanitkristallen“ . . . „Titanit ist neben Feldspäten und Quarz das gewöhnlichste Drusenmineral in den Tiefengesteinen des Kristianiagebietes. In den magmatischen Dämpfen (und dem magmatischen Wasser) war also Material zur Titanitbildung vorhanden. Das mag die Anreicherung von Titanit in manchen pneumatolytischen Kontaktzonen bewirkt haben“ . . .

Nach den Beobachtungen in Norwegen kann der Titanit auf dreierlei Art entstanden sein, einmal aus der primären Titansäureführung der Sedimentschollen, als Anreicherung des Granits in der Umgebung der Schollen sowie schließlich als pneumatolytische Zuführung. Von einer durch Verarbeitung von Nebengesteinsmaterial titanreich gewordenen granitischen Schmelze kann daher in den Restlaugen und Dämpfen Titansäure wiederum abgegeben werden.

Wenn schließlich Graber in Abschnitt 4 seiner Abhandlung sagt: „Sie — die Titanite — entstammen dem Titangehalt der in tieferen Dachabschnitten von den Granitlösungen gleichsam durchtränkten Amphiboliten“, so kann die zur Titanitbildung nötige Titansäure in den höheren Niveaus eben nur durch einen Transportvorgang angereichert worden sein, um dessen Annahme wir keinesfalls herumkommen. Das sind die Hilfsvorstellungen, die sich infolge der gemachten Annahmen mit Notwendigkeit ergeben und die aus meinen Arbeiten klar zu ersehen waren. Ich verstehe daher nicht, weshalb hier Graber einen Gegensatz in unseren Anschauungen empfindet. Aus seiner Veröffentlichung von 1902 [16], deren Nichtberücksichtigung er mir und Hegemann vorwirft (diese Arbeit S. 308) ist ein solcher jedenfalls nicht zu ersehen, denn sie bringt betreffs Titanit nicht mehr als die Angabe, daß eine große Schliere Titanit enthalte.

Die Stelle bei Graber lautet: „Das Hügelland südlich vom Blöckenstein, in Oberösterreich mit dem Namen Mühlviertel bezeichnet, ist geologisch-petrographisch mit den südöstlichen Ausläufern des Böhmerwaldes enge verbunden. Aufgebaut aus mannigfaltigen und durch ihre bedeutende räumliche Erstreckung häufig den Charakter selbständiger Gesteine besitzende Abänderungen von Granitit bildet es ein schönes Beispiel für den Zerfall eines Magmas im großen Stil“ (von mir gesperrt. Dr.).

„Auf den glimmerarmen, grobkörnigen Blöckensteingranitit („Kerngranit“) folgt südwärts eine gewaltige, mehrere Kilometer lange und breite, süd-

oststreichende Schlieren von „Titanitgranit“, die weiterhin in Hornblende- und Hornblende-Biotitgranit mit mächtigen Ausscheidungen von Syenit übergeht. Der Titanit dieser Schlieren ist in jedem Handstück in Menge vorhanden und in schönen bis 1 cm großen Kristallen von der bekannten Briefkouvartgestalt ausgebildet, die als Kristallisationszentren für Feldspataggregate dienen. Dadurch gewinnt das bald hellere bald dunklere und meist feinkörnige Gestein ein auffallend geflecktes Aussehen.“

Ich habe diese Arbeit Grabers deswegen nicht berücksichtigt, weil hier von genetischen Fragen nicht die Rede war. Soweit ich sehen kann, erwähnt Graber hier nichts von einer Aufnahme des Titans aus dem Nebengestein; denn „das Gestein bietet ein schönes Beispiel für den Zerfall eines Magmas im großen Stil.“

3. Die Erklärung der Hornblende-Biotitflecken durch Graber als Umwandlungsprodukte von Olivin ist für die untersuchten Fürstensteiner Gesteine schwer beweisbar. Sie scheint mir deshalb sehr fraglich, weil Olivin nicht neben Quarz stabil existieren kann und unsere Gesteine primär reichlich Quarz enthalten. Pyroxen als Ausgangsmaterial der Flecken, den Graber ebenfalls erwähnt, wäre denkbar, doch läßt sich damit nichts über die Genese des Gesteins aussagen. An Mischdioriten des Bergell, welche den Fürstensteiner Vorkommen weitgehend gleichen, ist die Bildung der Flecken sehr schön zu studieren. Dort handelt es sich um feinkörnige Gneisbänke als Ausgangsgestein, deren Glimmer-Hornblendelagen zu Flecken anschwellen. Diese Bergeller Gneise sind ohne Zweifel Paragesteine. Losgerissene Teile von ihnen liegen als echte Fleckendiorite im benachbarten basischen Granit. Die Anordnung der Flecken auf den Schichtflächen der Gneise in einer Ebene mit den Glimmerhäuten zeigt, daß es sich um ziemlich grobe Inhomogenitäten der Stoffverteilung in den Schichtflächen selbst handelt. Ob es Reste dünner kalkiger Bänke oder gestreute CaO-Gehalte ehemaliger Mergellagen der Paragneise sind, ist ungewiß. Die Genese dieser Flecken muß jedenfalls noch weitgehend geklärt werden. Ihr Vorkommen in typischen Paragesteinen (s. die Quarzglimmerdiorite von Friedeberg [14]), ist sicher (vgl. auch die Abbildung eines gefleckten Gneises in [9], Fig. 1), ihre Deutung als Reste basischer Minerale in ehemaligen Eruptivgesteinen einstweilen unbewiesen.

4. Die aus Dioriten hervorgegangenen Redwitzite ähneln nach Graber den Mischformen zwischen Amphiboliten und Graniten des Typus Mauthausen (= Passauer Waldgranit usw.).

Wenn hier die Entstehung der „Redwitzite“ aus Dioriten im Sinne magmatischer Gesteine von vornherein für sicher gilt, wird damit das Ergebnis einer weiteren Untersuchung der Genese dieses Gesteinstyps bereits vorweggenommen. Der dioritische Charakter der „Redwitzite“ in petrographischer Beziehung ist wohl noch nie

bestritten worden. Die stoffliche Zusammensetzung dieser „Diorite“ sowie ihre Strukturverhältnisse müssen an vielen Stellen aber den Verdacht erwecken, daß es sich eben nicht um Eruptivgesteine oder um echte Magmen handelt. Wenn Amphibolite + Granit „Redwitzite“ ergeben können und Diorit + Granit ebenfalls, dann wird der Unterschied zwischen Diorit und Amphibolit stofflich nicht eben groß sein; Para-Amphibolite mit primär überwiegendem Glimmer oder später biotitisierten Kornarten können dann in Mischung mit Granit zu „Dioriten“ werden...

Piliflecken als genetisches Unterscheidungsmittel zu verwenden, scheint mir aus den unter 3 angeführten Gründen nicht möglich.

Der Eginger Granit Frentzels wird von Graber als noch nicht völlig ausgereifter anatektischer Redwitzit zwischen dem Pannholzdiorit und dem Tittlinger Granit angesehen. Das ist

1. wegen der Aufschlußverhältnisse einstweilen nicht zu beweisen
2. wegen der Eigenschaften des Pannholzdiorits unwahrscheinlich. Der letztere bildet vorherrschend dichte massige Schollen, die infolge ihres dichten Korns wenig zur Auflösung im Granit neigen. Der Eginger Granit hat leichter assimilierbares Material aufgenommen.

5. Zur Frage der Gneiseinschlüsse in den Dioriten äußert sich Graber: „Gegen seine (Dreschers) Vorstellungen, daß sie nicht magmatische Einschlüsse, sondern bloß tektonische Einknetungen in die Hornfelse darstellen, sprechen viele Umstände. Zunächst und schon auf den ersten Blick die Fig. 1 seiner Dioritarbeit aus dem Jahre 1925, denn bei einer nur einigermaßen intensiveren Durchbewegung müßten gleichartige Scherungen sichtbar werden“...

Solche Scherungen sind jedoch bei dem weitgehend plastischen Zustand der Dioritmasse nicht zu erwarten! Der Satz, in welchem ich die Einbettung der Gneiseinschlüsse schilderte, wurde von Graber wörtlich zitiert und lautet: „Es besteht nach alledem keine besondere Schwierigkeit bei der Annahme, daß die hornfelsartig dichten Typen infolge der bei der Intrusion des Granits einsetzenden mechanischen Bewegungen abgeschuppte Gneisschollen in sich aufnehmen, während sie selbst dabei noch aus dem Granit durch Diffusion, Imbibition usw. mit neuem Material imprägniert werden“...

Ich glaubte, auf Grund dieser Schilderung würde es nicht zweifelhaft sein, daß mir die durch die Graniteinwirkung mit ihren Imbibitionen und zugeführten Lösungen hervorgerufenen plastischen Umformungen vorschwebten und keine „tektonischen“ — der Ausdruck stammt nicht von mir — Einknetungen, oder postkristalline Deformationen, wie Graber anscheinend meint. Die mechanischen Umformungen wirkten sich an einem hochplastischen Material aus,

dessen „magmatischer“ Zustand die Losreißung und Umschließung von Schollen ermöglichte. Scherflächen können bei solchem Zustand des Materials nicht entstehen, bzw. nicht sichtbar angelegt werden. Durch „plastische Mobilisation“ sind auch die z. T. vorhandenen Diskordanzen anderer dioritischer Gesteine des Bayerischen Waldes (Cloos' „Plutone“) verständlich. Daß die von mir erwähnten mechanischen Umformungen in einem \pm plastischen, lösungsaktivierten Zustand vor sich gegangen sein mußten, in welchem keine bruchhaften, mechanischen Deformationen herrschten, sollte schon aus der Erwähnung von Lösungsdiffusion, Imbibition und imprägnativer Zufuhr hervorgehen. Ich hatte eine allseitige „magmatische“ Umschließung der Schollen im Auge gehabt und das auch schon in meiner Arbeit [9] (S. 45) mit folgenden Worten betont: „Ein derartiger Vorgang erfordert einerseits eine nicht geringe Erweichung des Materials, andererseits gewisse Bewegungen der Massen relativ zueinander. Beides zusammen kann durchaus losgerissene Gneisteile etwas tiefer in die dioritische Fazies hineingelangen lassen“ . . .

Betreffs Imbibition und Imprägnation fragt Graber weiter: „Warum . . . wurden nur die Hornfelse und nicht auch die hinein-gekneteten Schollen vom Granit aus diffundär imprägniert? Diese Frage hat Drescher nicht gestellt.“ Nein, diese Frage habe ich nicht gestellt und werde sie auch nicht stellen, weil ich vielfach bestätigt gefunden habe und viele Petrographen mit mir, daß unter den normalen Verhältnissen einer Regionalmetamorphose bereits injizierte Schollen durch spätere Einbettung im Granit nur noch wenig verändert werden. Gneisschollen verhalten sich bei der Einbettung im Granit durchaus anders als die gleichkörnig-massigen, hornfelsartigen Typen ohne erkennbare oder doch stark zurücktretende Strukturflächen. Eine Scholle eines flächenhaft injizierten Gesteins behält im Granit nicht nur die äußere Form, sondern wird auch stofflich wenig verändert. Die Glimmerlagen ihrer Strukturebenenscharen dichten in Richtung ihrer Flächennormalen gegen eindringende Lösungen so gut wie völlig ab. In den „Injektionslagen“ selbst herrscht ein Gemenge von Quarz und Plagioklas, das in der dargebotenen Verteilung nicht sehr reaktionsfähig ist.

Ich habe 1940 [10] in einer Untersuchung aus dem Bergell die Veränderungen dargestellt, welche eine im Granit eingetauchte Gneisscholle erleidet. Das Ergebnis war: äußerlich kein Unterschied gegen weiter vom Granit entfernte Gneispartien. Glimmerlagen im wesentlichen unverändert. In den hellen Adern findet sich sparsam eine Umkristallisation des Grundplagioklases zu größeren und saureren Plagioklasen, gefolgt von schwacher Kalifeldspateinwanderung, die im wesentlichen auf die Intergranularen beschränkt ist. Myrmekitierung nicht selten . . . Demgegenüber verhalten sich die \pm gleichkörnigen Hornfelsschollen völlig anders. In ihnen herrscht starkes Kristalloblastenwachstum

unter Umbildung und teilweiser Abänderung der ehemaligen Quarzpflasterstruktur. Die vielen Beispiele aus den deutschen Mittelgebirgen und den Alpen, im einzelnen das erwähnte Vorkommen der im Granit eingebetteten Grauwackenschollen der Greiffensteine im Erzgebirge zeigen das durchaus klar und eindeutig.

6. Ältere d. h. vorgranitische Gänge wurden nach Graber in den Dioriten nicht beobachtet weder im Pannholz noch im übrigen Passauer Wald.

Ich habe in [4], S. 452—55 Vorkommen und Auftreten der diskordanten vorgranitischen Gänge, ihre allgemeine Bedeutung sowie ihre Beziehung zum Vergneisungsvorgang als Antwort auf die Scholtz'schen Einwände eingehend diskutiert. Ich habe in [4], S. 453 und Taf. XLVI neue Abbildungen gebracht, welche das Vorkommen prägranitischer Gänge klar beweisen.

Auf diese eingehenden Darlegungen der Beobachtungstatsachen und die möglichen Deutungen — es wurde ausdrücklich nicht von einem sicheren Beweis gesprochen und dies besonders begründet — geht Graber leider nicht ein. Aus seinen Darlegungen könnte man entnehmen, daß er meine hergehörigen Ausführungen übersehen hat; er könnte sonst beispielsweise nicht von einer „Verwechslung“ sprechen, wo ich nur granitische und prägranitische Gänge unterschied¹⁾ und die u. U. mögliche Beziehung zu den primären Vergneisungsvorgängen des Grundgebirges sehr vorsichtig diskutierte.

Ich bedaure es, daß Graber meine erneut und eindringlich vortragenen Erläuterungen über vorgranitische Gänge, welchen in Gestalt von Zeichnungen oder Photos neues Material beigegeben wurde, nicht besprochen hat, vor allem, daß er meine Angaben offenbar an Ort und Stelle nicht nachprüfte. Er würde die fraglichen Gänge im Bruch ca. 800 m nördl. Felsching bestimmt aufgefunden haben.

Ich halte im übrigen meine Beobachtungen völlig aufrecht und sehe davon ab, sie hier nochmals in extenso aufzuführen und zu besprechen. Ich verweise hierzu auf [4], S. 452ff.

Meinen dortigen Angaben ist nur noch hinzuzufügen, daß es sich inzwischen als immer notwendiger herausgestellt hat, bei den Injektionsprodukten einer Vergneisung zwischen ihren periodischen diskordanten Spaltenfüllungen und den Vorläufern granitischer Intrusionen im Gefolge regionalmetamorpher Krustenveränderungen zu unterscheiden. Hierbei scheinen fast alle Übergänge zwischen völliger Selbstständigkeit beider Ereignisse und engster gegenseitiger Verknüpfung möglich zu sein. Ich bin mir bewußt, daß damit die Bedeutung diskordanter granitischer Gänge für genetische Entscheidungen beträchtlich verringert wird.

Dagegen ist in diesem Zusammenhang die Feststellung prägranitischer Gänge gerade wegen des Nachweises mehrfacher Metamorphose wieder von

¹⁾ [9], Fig. 10, 11, 13, Fig. 2; [4], Fig. 1 und Taf. XLVI¹⁾.

größerer Bedeutung. Graber lehnt eine mehrfache Metamorphose der „Diorit“-schollen ab. Die Auffindung vorgranitischer Gänge legt dieses aber recht nahe. Die Dioritschollen werden von feinkörnigen granitischen Gängen durchsetzt; jüngere breite Apophysen des Kristallgranits schneiden sie ihrerseits ab. Beide Gangbildungen, vor allem aber die Schmelzlösungen, in welche die der Metamorphose unterliegenden Schollen allseitig eintauchten, müssen also zu verschiedenen Zeiten auf den Bestand der „Diorite“ eingewirkt und damit eine mehrfache Metamorphose erzeugt haben, wenn auch die Wirkung der regionalen Metamorphose auf die Paragesteine, aus denen die Diorite hervorgingen, zweifellos um vieles bedeutungsvoller war als diejenige der seltenen prägranitischen Gänge.

7. Zur Herleitung der Diorite aus einem Quarz-Biotithornfels bedarf es nach Graber (Lit. 5) einer Reihe von Hilfsmaßnahmen.

1. Vorgranitische Injektionen als Plagioklaslieferanten.
2. Zufuhr von Titanit, Apatit und Orthit durch den Granit.
3. Echte Hornfelse des Moldanubikums haben niemals eine so dichte Struktur wie die für Hornfelse gehaltenen Diorite.
4. Sie widerstehen wie Panzerfestungen (!) dem Ansturm granitischer Lösungen (ungefeldspatete Hornfelse in den Perlgneisen).
5. Sie bilden niemals diskordante Linsen und Platten.
6. Bei der Herausarbeitung von Mischformen tritt regelmäßig eine starke Kornvergrößerung durch Sammelkristallisation ein (Redwitzite, Perlgneise).

Zu 1. Eine Gegenfrage: Liefern denn die vorgranitischen Injektionen in den Grundgebirgsgneisen keine Plagioklase? Die Injektionen im Glimmerschiefer ergeben selbstverständlich andere Formen als in massigen Quarz-Biotithornfelsen, denen die Schieferigkeit im wesentlichen fehlt.

Zu 2. Die Annahme einer Zufuhr ist unnötig, da alle drei Minerale in oft völlig ausreichender Menge gerade in Quarz-Biotithornfelsen vorkommen. Speziell Titansäure ist im Biotit immer vorhanden; in den meisten Fällen steht auch Apatit in genügender Menge zur Verfügung. Orthit ist auch in quarzreichen hornfelsartigen Typen öfters beobachtet. Im übrigen wissen wir über die Geochemie des Cer noch zu wenig, um über die Bildungsweise des Orthit sichere Aussagen machen zu können. Zufuhr vom Granit aus, überhaupt granitischer Transport, ist selbstverständlich möglich, oft beobachtet und keineswegs nur eine Hilfsannahme, da man gezwungen ist, mit dieser Möglichkeit zu rechnen und sie zu prüfen.

Zu 4. Es ist schade, daß Graber meine auf S. 302 dieser Abhandlung wiedergegebenen Bemerkungen aus [4], S. 523 über Nomenklatur, Hornfels und hornfelsartige Gesteine nicht berücksichtigt. Er würde von seinem Vergleich mit echten Hornfelsen vermutlich abgesehen

haben und damit auch von den Nummern 4—6 seiner Aufzählung. Wenn Graber erwähnt, echte Hornfelse bildeten keine diskordanten Linsen und Platten — was auch meine Meinung ist — so wäre gerade eine Besprechung der Streitfrage zwischen Scholtz und mir über die Auffassung der Kluftsysteme und des Intrusionsplanes ([4], S. 473) förderlich gewesen, von welcher er „wegen ihrer geringen Bedeutung für das engere Thema“ abgesehen hat. Der von mir geführte Nachweis, daß Intrusionsmechanik und Kluftplan in dem besprochenen Beispiel nicht für eine selbständige aus der Tiefe aufsteigende Schmelze sprechen, dürfte schwer zu widerlegen sein.

Zu 6. Kornvergrößerung bei der Metamorphose ist überall dort zu erwarten, wo das Material zur Bildung kristallisationsfreudiger Minerale vorhanden ist. Quarz, Biotit und Plagioklase werden hier i. a. durchaus von der Hornblende übertroffen. Vorhandener Kalkgehalt veranlaßt Hornblendebildung; Quarzbiotitgesteine dagegen erreichen nur selten erheblichere Korngrößen und bleiben, abgesehen von einzelnen, stark durchgasteten Partien, wohl immer feinkörniger als der umgebende Granit. Wie man an den Greiffensteiner Vorkommen und vielen anderen der deutschen Mittelgebirge und selbstverständlich auch im Fürstensteiner Gebiet selbst sehen kann, sind die Ausgangsgesteine derartiger Graniteinschlüsse Quarz-Glimmer-Paragesteine mit häufig erkennbarer primärer Schieferung etwa vom Habitus einer Grauwacke gewesen. Solche Gesteine erfahren bei der Metamorphose keine besondere Kornvergrößerung . . .

8. Zur Deutung von Gefügediagrammen äußert sich Graber folgendermaßen. „Gefügediagramme haben nicht den ihnen von Drescher zugeschriebenen diagnostischen Wert für die Entscheidung, ob ein vorliegender Tektonit ein Erstarrungsgestein, ein Sediment oder eine Mischform ist . . . Im besonderen Fall wurde der Beweis einer vorgranitischen Injektion nicht erbracht“ . . . (vgl. hierzu [4], S. 491).

Hier werde ich mit etwas belastet, was ich in dieser Form nie gesagt habe. An keiner Stelle meiner Arbeiten findet sich die Behauptung, aus einem Gefügediagramm könne man entscheiden, ob ein vorliegender Tektonit ein Erstarrungsgestein, ein Sediment oder eine Mischform sei. Eine solche Aussage ist selbstredend bei keinem Gefügediagramm von vornherein möglich. Man kann aber Gefügepläne zweier Gesteine, von denen das eine das andere einschließt, so interpretieren, daß man aus ihnen das zeitliche Verhältnis der die Regelung erzeugenden mechanischen Vorgänge erhalten kann, um hieraus dann genetische Schlüsse zu ziehen.

Nichts anderes habe ich getan. Das Ergebnis war auch durchaus eindeutig ([4], Fürstenholz, Fig. 10). Die Schollen im Bezirk Fürsten-

stein, Fürstenholz, Engelburg u. a. sind ziemlich straff geregelte B-Tektonite mit starkem Maximum \perp s. (weshalb sie Graber als Pol- oder Einschar-Tektonite bezeichnet). Die Granite ([4], Fig. 3 und 4) sind ebenfalls B-Tektonite, aber mit gleichmäßigen, um die B-Achse verteilten Maxima, zeigen also ein vom vorigen durchaus abweichendes Gefügebild. Da es sich um horizontierte Flachscliffe handelt, sieht man, daß das Gefüge im Granit (B-Achse) gegen dasjenige der Scholle etwas verstellt ist. Eine gemeinsame und gleichzeitige Gefügebildung von Granit und Scholle scheidet also aus. Die Schollen haben ihre Gefügeregelung in einer vorausgegangenen Metamorphose prägranitisch erworben. Zu solchen Feststellungen sind Gefügediagramme eben doch brauchbar.

Sollte man hier einwenden, quarzglimmerdioritische Magmen stiegen in einem vergneisten Grundgebirge auf und erwarben dort ihre Gefügeform — nach Art von Schmelztektoniten, bei denen Graber Gefügeverstellung für möglich hält (Vorkommen?) — so steht dem die einwandfreie Beobachtung von Injektionslagen in den Schollen der Umgebung des Fürstenholzes, bei Fürstenstein, Engelburg usw. entgegen. Injektionslagen können selbstverständlich nicht in post-orogenen, nach der Vergneisung des Grundgebirges gelieferten und inzwischen verfestigten Dioritmagmen, welche zur Aufnahme von Injektionsmaterial erst in einer neuen Faltungsphase geschiefert werden müßten, auftreten. Für solche Vorgänge wäre ein neuer stofflich-tektonischer Zyklus, eine neue Regionalmetamorphose notwendig, deren Spuren im heutigen Grundgebirge unzweideutig nachweisbar sein müßten.

Auch die Deutung meiner Diagramme ([4], Fig. 10, 12—15, 19) beanstandet Graber. Er meint, es seien keine typischen Gürteltektonitdiagramme. Man könne sie nicht einmal als Diagramme mit „abgerissenen“ Gürtel bezeichnen. Es gehört zu sehr früher Erfahrung der Gefügekunde, daß es gar nicht auf die Form des „Gürtels“, ob dieser abgerissen ist oder vollständig, ankommt, sondern einzig darauf, ob das Diagramm eine B-Achse zeigt oder nicht. Und das ist bei sämtlichen von mir gegebenen Diagrammen der Fall, auch bei denen mit geringerem Regelungsgrad ([4], Fig. 12—14). Die stärkere Entwicklung dieser Gefügepläne in der Gegend der Hauptmaxima berechtigt keineswegs dazu, das Diagramm als das eines s-Tektonits (oder Pol-Tektonits u. dgl.) anzusprechen unter Vernachlässigung der klar vorhandenen B-Achse. Gerade bei statischer Überholung primärer Gefügeprägungen durch Abbildungskristallisation kann der Gürtel eines B-Tektonits in seiner Schärfe beeinträchtigt werden.

Die zuletzt erwähnten Diagramme ([4], Fig. 12—15, [16]) läßt Graber unberücksichtigt, weil Gefügeverstellung auch in Schmelztektoniten möglich sei. Es handelt sich aber nicht um Schmelztektonite, sondern um Schollen,

deren Struktur die reliktschen Merkmale ehemaliger Paragesteine mit genügender Deutlichkeit erkennen läßt. Die Schollen sind lagenweise injiziert und ihre Injektionslagen sind homotaktisch zu ihrem Wirtsgestein geregelt, das den Gefügeplan eines B-Tektonits zeigt (Re). Spätere Mikroklinholoblasten dieser Schollen enthalten zahlreiche Grundgewebskomponenten; auch diese (Ri) lassen eine B-Achse erkennen.

Hierbei war die Feststellung nötig und wichtig, daß, selbst wenn es sich bei dem Gefüge Ri nicht um Desorganisation von Re durch den wachsenden Kristalloblasten, sondern um das ursprüngliche Primärgefüge des Gesteins handelt — das dann später unter \pm mechanischer Ausgestaltung zu Re umgeschaffen wurde —, doch die Tatsache, in diesem primären Gefüge des Gesteins einen B-Tektonit vorliegen zu haben, von großer Bedeutung für die Genese der Schollen ist. Denn hierdurch wird ebenfalls eine frühere Metamorphose vor der Mikroklin-Kristalloblastenbildung mit Sicherheit angezeigt.

Graber erklärt, ich hätte den Beweis einer prägranitischen Injektion nicht erbracht. Ich glaube jedoch, daß die hier nochmals aufgeführten Beobachtungen durchaus Beweiskraft besitzen:

1. Makroskopische Unterscheidbarkeit zweier verschiedener Injektionsvorgänge schon im Steinbruch: 1. prägranitisch-kinematische, feinkörnige, z. T. lagenartige Injektion¹⁾; 2. granitisch-statische Imbibitions-Metamorphose der Schollen S. [4], 16.
2. Mikroskopische Beobachtung, daß die sich in die Schollen hineindrängenden sekundären Imbibitionen des Passauer Waldgranits die Komponenten der primären Injektionen allseitig einschließen ([17], S. 253; [4], S. 484/85).
3. Feststellung übereinstimmender Regelung der Gemengteile der primären Injektion mit derjenigen des Grundgewebes der Mineral-Komponenten der Schollen, also übereinstimmender Beanspruchungsplan. (Von den Titanitflecken der primären Injektionslagen erwähnt übrigens Fischer [20], daß sie bei der Regelung des Gefüges bereits vorhanden waren.)
4. Stofflich-struktureller Unterschied der beiden Injektions- und Imbibitionsphasen. (Geregelte Plagioklase — unregelte Kalifeldspäte.) Vergleicht man die Plagioklase der Schollen mit denjenigen des Passauer Waldgranits, so findet man: ganz wenig Plagioklase im Granit, viel Plagioklase in den Schollen. Für den Kalifeldspat ist es umgekehrt. In manchen Schollen ist primär fast kein Kalifeldspat vorhanden.
9. Die Beurteilung des chemischen Bestandes der Fürstensteiner Gesteine sehe ich durchaus anders als Graber. Man sollte sich

¹⁾ Solche Injektionslagen mit ausgesprochener Homotaxie zum Schollengefüge können schon deformationsmäßig nicht auf die Wirkung des die Schollen umschließenden Granits zurückgeführt werden. Die Schollen müssen zusammen mit den Rahmengesteinen injiziert worden sein, ehe sie beim Aufdringen des Granits losgerissen, diesem einverleibt und nun durch Imbibition vom Granit her zusätzlich erneut verändert wurden.

doch nicht erst dann zur Annahme einer Paragesteinsnatur entschließen, wenn der Projektionspunkt beruhigend tief im Sedimentfeld liegt. Bei dem hohen Grade der Metamorphose muß schon die Tendenz der Projektionspunkte, die Grenzzone zwischen Eruptiv- und Sedimentfeld zu benutzen, unseren Verdacht erregen; und das um so mehr, weil es wohl nicht zweifelhaft sein kann, daß die Grenze Eruptiv- zu Sedimentfeld im allgemeinen zugunsten der Eruptivgesteine gezogen wurde. Die große Zahl besonders der älteren Forscher, ist leichter geneigt, unter Berücksichtigung vorhandener Tiefengesteinsstrukturen und anderer Merkmale ein metamorphes Gestein als „Ortho“-Gestein zu erklären; hierfür ist Graber selbst ein Beispiel. Die schnellen Strukturänderungen auf kurze Strecken hin — oftmals innerhalb weniger Zentimeter —, die leichte Erwerbung von Strukturen mit Tiefengesteinscharakter bei der Metamorphose macht uns aber gerade die Reliktstrukturen so wichtig. Auf chemischem Gebiet ist es nicht anders. Findet man im heutigen chemischen Bestand noch reliktsche Züge, welche auf Beimengung von Paragesteinsmaterial schließen lassen, so ist dem bei genetischen Erwägungen besondere Aufmerksamkeit beizumessen. Ich sehe auch, daß andere Forscher ebenso verfahren, wenn ich bei A. Marchet ([21], S. 355) den Satz finde: „Die hybride Natur der Proben . . . bringt eine Annäherung der Projektionspunkte an das Feld der Schiefergneise und Glimmerschiefer mit sich, ohne daß das Granitfeld verlassen wird.“ Also gibt es offenbar auch andere Autoren, welche in einer Annäherung des Projektionspunktes an das Feld der Glimmerschiefer eine Bestätigung der hybriden Natur sehen.

Nun vermutet Graber, meine Gesteine seien „unfrisch“, sogar „zersetzt“ gewesen. — Meine eigene Schliffbeschreibung zeige das. Das erste, was jeder Pétrograph, der Analysenmaterial vorbereitet, tut, ist mit größter Vorsicht mikro- und makroskopisch kontrolliertes frisches Material auszusuchen. Auch ich habe das getan. Keineswegs alle Proben und Schliffe zeigen die von mir geschilderten sekundären Erscheinungen. („Sekundär“ war hier keinesfalls als gleichbedeutend mit „verwittert“ gesetzt!) Bei der allgemein unregelmäßigen und schlierigen Beschaffenheit der „Diorite“ findet man auch in Brüchen, welche Bereiche mit Anzeichen „autometamorpher“ Vorgänge erkennen lassen, fast immer auch Typen ohne wesentliche Chlorit und Serizitbildung, so im Fürstenholz, bei der Engelburg, im Pannholz usw. Gesteine aus den Brüchen bei Namering, die überwiegend unfrisch waren, wurden nicht analysiert. Es wurden nur frische Proben ausgewählt. Selbst das dunkle Gestein aus dem Bruch NO Fürstenstein bildet keine Ausnahme. Denn selbst hier fanden sich chlorit- und serizitarmer Partien mit höchstens schwach angedeuteter Feldspattrübung, deren geringer Serizitgehalt die Lage im Projektionsfeld so wenig verändert, daß man, auch

wenn für Chloritisierung und Kerntrübung der Plagioklase entsprechende Korrekturen angebracht werden, doch noch im Sedimentfeld oder hart an seinem Rande verbleibt¹⁾. Der Verdacht auf Beteiligung von Paragesteinsmaterial besteht für die von mir beschriebenen Gesteine trotz Grabers Einwendungen somit nach wie vor. Denn auch der größte Skeptiker wird zugeben müssen, daß diesen Gesteinen eben kein reiner Eruptivgesteinscharakter zukommt, — solange wir den Molekularverhältnissen der Gesteine noch irgendeinen Wert bei genetischen Entscheidungen betreffs Ortho- oder Paranatur zubilligen — und daß wir uns nicht dabei beruhigen dürfen, hier einfach normale quarzglimmerdioritische Magmen anzunehmen, wie Graber es will.

Wie sehr berechtigt der Verdacht auf Paragesteinscharakter bei nur geringfügigen Anzeichen an den im Granit eingebetteten und stark veränderten Schollen ist, beweist das von mir erwähnte Gohlitscher Gestein, dessen negativen Al-Überschuß Graber besonders hervorhebt (S 24). Dieses Gestein ist ein vollkommen einwandfrei bestimmbarer Para-Injektionsgneis des Granitrahmens. Wenn dieser, klar als Paratyp erkannte Gesteinskomplex eine Analyse mit wesentlich quarzglimmerdioritischen Zügen liefert und einwandfrei im Eruptivgesteinsfeld liegt, mit wieviel größerem Recht müssen wir Verdacht auf Aufnahme fremden Materials bei den Fürstensteiner Analysen mit — wenn auch geringem — Al-Überschuß und einer Lage im Sedimentfeld oder an seiner Grenze haben!

Graber beanstandet ferner, daß ich in den Analysen Kristalloblasten-Masse abgezogen, durch Grundmasse rechnerisch ersetzt und dadurch eine Wanderung des Analysenpols (an oder) in das Sedimentfeld erhalten hätte. Er hält dieses Vorgehen nicht für berechtigt. Granite am Kontakt hätten stets verschiedene, meist basische Stoffe aus dem Nebengestein aufgenommen. Also müsse Stoffwanderung nach beiden Seiten stattgefunden haben. Graber ist es wohl entgangen, daß ich das ja ebenfalls angenommen habe! Wenn ich für abgezogene Kalifeldspatmasse Grundgewebe rechnerisch zuführe, so muß ich letzteres also im Austausch gegen den Porphyroblasten als weggeführt angesehen haben, sonst würde ich es ja nicht ersetzen, um das ursprüngliche Gestein wiederherzustellen.

An den Stellen, wo ich untersuchte, war zweierlei zu beobachten:

1. Kalifeldspateinwanderung auf diffusen Schwächezonen.
2. Fehlen jeglicher Inhomogenität im umgebenden Granit, der keine basischen Gemengteile der dunklen, feinkörnigen und scharfbegrenzten Schollen

¹⁾ Wollte man Analysen Serizit- und Chlorit-führender Gesteine überhaupt für nicht geeignet zum Vergleich mit den Parameterwerten anderer Typen halten, so wären zahlreiche Analysen modernster Arbeiten, z. B. der Züricher Schule, zwecklos angefertigt worden!

enthielt, sondern bis zum Schollenrand hin völlig gleichartig blieb. Größere basische Stoffwanderungen in den Granit hinein haben also sicher nicht stattgefunden. Im übrigen hätten sie höchstens dem Paragesteinscharakter entgegengewirkt, besonders abwandernde Eisen und Aluminiumverbindungen . . . Dann wäre aber eine erkennbare Auslaugung des ganzen Gesteins vor sich gegangen unter Beeinflussung des Gesamtchemismus und nicht nur an den Stellen, wo Kristalloblasten wuchsen. Selbstverständlich kommt es nur auf solche Bereiche an, da entsprechende Bilanzrechnungen nur an Stellen nachgewiesenen Austausches und bei gegenläufigen Reaktionen im Gefüge Sinn haben.

Der Vorgang der Kristalloblastenbildung führt zunächst um soviel mehr Substanz von außen zu, als das Porenvolumen des Grundgewebes beträgt. Von dem Grundgewebe selbst — bestehend aus Quarz, Plagioklas, Biotit und Akzessorien — wird ein Teil zum Aufbau der Kristalloblasten verwendet, ein anderer Teil — der bei den gefüllten Mikroklinen des Fürstenholzes nicht ganz unbedeutend ist, wird \pm korrodiert im Porphyroblasten eingebaut. Vorhandene Stoffe, welche für die Kristalloblastenbildung nicht verwendet werden können, sind FeO , MgO , CaO , Na_2O . Diese werden fortgeführt, z. T. in der direkten Umgebung der Kristalloblasten zu Neubildungen, z. B. Biotit, benutzt, dafür zur Mikroklinbildung vor allem K_2O zugeführt, daneben auch sicher Al_2O_3 , da die durch Abbau der Grundgewebekomponenten erhaltene Menge zur Mikroklinbildung nicht ausreicht. Die Gesamtbilanz schließt mit einem Überschuß an zugeführten, löslichen Bestandteilen unter Abfuhr unlöslicher Stoffe, so daß meine damaligen Ausführungen nach wie vor zu Recht bestehen. Ich werde demnächst ausführlicher an anderer Stelle über eingehendere Untersuchungen der Kristalloblastenbildung und die hierbei zu erwartenden Stoffverschiebungen berichten.

Im ganzen also sind die Einwände gegenüber meiner Deutung der chemischen Verhältnisse, insbesondere die gegen die Frische meines Materials gerichteten Bedenken nicht aufrecht zu erhalten.

Graber nannte im Jahre 1930 meinen Ausdruck „Mischdiorit“ bedenklich; im Jahre 1933 „ganz verunglückt“. Er ist der Ansicht, daß bei der Verwendung des Ausdrucks „Mischdiorit“ die eine Komponente ein Diorit sein müsse; in Wirklichkeit sei es aber ein Granit. Demgegenüber behaupte ich, daß eine solche Interpretation nicht zwingend ist. „Mischdiorit“ heißt nichts anderes als „gemischter Diorit“, oder durch Mischung, „entstandener Diorit“, wobei über die Mischungsglieder und ihre Anteile nichts ausgesagt wird. Wenn wir uns Grabers Interpretation anschließen, so müßte z. B. ein Granit, der durch Aufnahme fremden Materials in seiner Zusammensetzung stark basisch geworden ist und petrographisch einem amphibolitischen oder dioritischen Typ entspricht, trotz des völlig ungranitischen Charakters dennoch „Granit“ genannt werden. Saure, aplitische oder pegmatitische Injektionen, die keineswegs als Granit zu bezeichnen sind, müßten nach Graber bei Aufnahme basischen Materials „Misch-aplit“ oder „Mischpegmatit“ genannt werden, trotzdem sie ihrer Zusammensetzung nach einen Mischgranit bilden. Der Ausdruck „Mischdiorit“ darf also nichts anderes bedeuten, als daß ein durch Mischung

entstandenes Gestein von der petrographischen Zusammensetzung eines Diorits vorliegt. Über die ursprüngliche Zusammensetzung der Eruptivgesteinskomponente, ob sie mehr granitisch oder dioritisch war, ob und wie weit sie im Lauf der Assimilation ihren Chemismus durch Materialaufnahme änderte, braucht dabei zunächst gar nicht entschieden zu werden. Allein die Feststellung einer Mischung oder Migmatitbildung unter Angabe der heutigen Zusammensetzung ist wichtig, prägnant genug und für eine kurze Charakterisierung des Vorgangs unter Angabe des petrographischen Bestandes verwendbar. Ich werde daher die Bezeichnung Mischdiorit in diesem Sinne weitergebrauchen.

Betrachtet man zusammenfassend die Lage des Problems, so ergibt sich folgendes: die Fürstensteiner Gesteinstypen zeigen bei erster Betrachtung die Merkmale granito-dioritischer Tiefengesteine. Bei näherer Untersuchung aber lassen sich so viele reliktsche Züge präexistenter Paragesteine nachweisen, daß der metamorphe Charakter der entstehenden Gesteinstypen, ihre Herkunft aus verhältnismäßig SiO_2 -reichen Rahmengesteinen des Massivgranites, nicht mehr bezweifelt werden kann.

Graber unterbewertet die zahlreichen und vielfältigen Beobachtungen, die zwangsläufig zu dieser Deutung führen müssen, wenn er sein Urteil über die Genese der Fürstensteiner Gesteine in den folgenden Worten zusammenfaßt:

„Ob die Diorite des Passauer Waldes als Differentiate des Granitmagmas oder als tiefere Dachmischungen (z. B. Amphibolit = Granit) mit vorherrschend femischer Komponente¹⁾ zu deuten sind, dafür fehlen konkrete Anhaltspunkte. Selbst für den Fall, daß ein derartiger, immerhin möglicher Fall tatsächlich stattgefunden hätte, würde sich am Charakter der Diorite als magmatisch aufgestiegener und rasch und unter Durchbewegung erstarrter Massengesteine nichts ändern...“ Aber auf keinen Fall sind wir berechtigt, die Diorite als polymetamorphe Sedimente, als Pseudodiorite, deuterogene Diorite, Mischdiorite... oder als Redwitzite anzusprechen. Sie sind vielmehr als spezifische Quarz-Glimmerdiorite zu bezeichnen, die im Nigglichschema zwischen den oligoklasitischen und quarzdioritischen Magmen stehen.“

Den Charakter der „Diorite“ wollen wir ja nicht ändern. Wir wollen aber wissen, woher deren „Magma“ seinen Stoff bezieht, oder mit einem Wort feststellen, wo und wann das „Magma zum Magma“ geworden ist. Daß dieses möglich sein muß, daß wir hierbei die hornfelsartigen Quarz-Biotitgesteine mit großem Vorteil verwenden können, daß wir bei höherem CaO-Gehalt die Amphibolite als genetisch gleich-

¹⁾ Und der geringe Kalkgehalt?

berechtigte Glieder auffassen und in ähnlichem Sinne ausnutzen müssen, hat sich an vielen Einschmelz- und Injektionszonen, die in letzter Zeit untersucht wurden, zeigen lassen (vgl. hierzu auch die trefflichen Beobachtungen H. Buchmanns-Basel aus dem Cocco-Massiv). Nur darf man, schon im Hinblick auf die Grauwackenfazies, nicht alle metamorphen Biotit-Quarzgesteine als biotitisierte Amphibolite ansehen wollen.

Auch nach Graber sind nach dem obigen Wortlaut die Fürstensteiner Diorite nicht als Redwitzite anzusprechen, also doch wohl nicht im Sinne der Erstbearbeiter der Redwitzite Weinschenk's und Willmann's als Lamprophyre. Ich hatte hierauf 1925 [9] hingewiesen und Graber hatte sich mir in der Ablehnung der Lamprophyrdeutung [7] angeschlossen.

Die Redwitzite lassen sich aber auch nicht als andersgeartete magmatische Typen, als Abkömmlinge echter Diorite auffassen. Das ist inzwischen auch durch Beiträge anderer Autoren, wie Hegemann [23, 24], Fischer, v. Gaertner u. a. erhärtet worden. Weder für Fürstenstein, noch für die namengebenden Vorkommen von Markt-Redwitz selbst ist die magmatische Herkunft jetzt noch ernsthaft zu diskutieren im Vergleich mit der inzwischen an anderen Vorkommen gemachten Erfahrungen, welche die redwitzitartigen Typen als Migmatite erweisen. Abgesehen von den vielen bereits erwähnten Merkmalen ist der außerordentlich starke Wechsel im Gesteinshabitus und in der Korngröße — und zwar innerhalb eines Niveaus, wo auf einem Raum von wenigen Quadratmetern Gesteinskomplexe verschiedenster Korngröße und Basizität nebeneinander liegen — für die Deutung als migmatitische, metamorphe Produkte verantwortlich zu machen.

Wenn wir ganz allgemein die vielen Beweise für Migmatitbildungen zwischen Paragesteinen des Rahmens und Granit am Beispiel der „Diorite“ betrachten, wie sie heute an zahlreichen Stellen vorliegen, so müssen wir die Diorite als solche Gesteine ansehen, bei denen der Übergang vom Ausgangsgestein des Rahmens über das Migma zum Magma vielleicht am leichtesten zu beobachten ist wegen der Schwerzerstörbarkeit der ursprünglichen Gesteinsmerkmale. Deshalb die große Bedeutung struktureller und chemischer Relikte, auf die ich immer wieder eindringlich hingewiesen habe. Solche Gesteinstypen lediglich als Quarzglimmerdiorite mit entsprechender Stellung im Magmaschema anzusehen, heißt sich der Möglichkeit neuer Erkenntnisse berauben.

Graber war der Ansicht, die Auffassung von der hybriden Natur der Diorite widerlegt zu haben. Köhler hat sich ihm angeschlossen. Der Beweis aber für die magmatische hypogene Natur der Fürstensteiner Gesteine wurde ab negativo durch Ablehnung meiner Beob-

achtungen oder ihrer Deutung erbracht. Nun hätte der positive Beweis zu folgen, daß in Fürstenstein echte quarz-glimmerdioritische Magmen vorliegen. Dieser Beweis steht noch aus.

Schrifttum.

1. Drescher-Kaden, F. K., Über Assimilationsvorgänge, Migmatitbildungen und ihre Bedeutung bei der Entstehung der Magmen . . . Chemie der Erde 10, 271 (1936). — 2. Cloos, H., Kurze Beiträge zur Tektonik des Magmas. I. Teil, Die Intrusionsfolge im Bayerischen Wald. Geol. Rundschau 14, H. 1 (1923). — 3. Cloos, H. u. Mitarb., Die Plutone des Passauer Waldes usw. Monogr. Z. Geol. u. Pal. Ser. II, 3 (1927). — 4. Drescher-Kaden, F. K., Zur Genese der Diorite von Fürstenstein. N. J. f. Min. 1930, Beil.-Bd. 60, Abt. 1, S. 445/530. — 5. Graber, H. V., Die Diorite des Passauer Waldes. Geol. Rundschau 24, H. 1/2, 15 (1933). — 6. Köhler, A., Die moldanubischen Gesteine des Waldviertels usw. Fortschr. d. Min. usw. 25, 253 (1941). — 7. Graber, H. V., Die Redwitzite und Engelburgite als Mischformen von Graniten und Amphiboliten. Mitt. d. Geol. Ges. Wien, XXII, 1929. — 8. Fischer, G., Die Gabbro-Amphibolitmasse von Neukirchen und ihr Rahmen. N. J. f. Min. 1930, Beil.-Bd. 60, Abt. A. — 9. Drescher-Kaden, F. K., Zur Tektonik und Petrographie der Diorite von Fürstenstein. Abh. d. Hess. Geol. L. A. 8, H. 1 (1925). — 10. Derselbe, Beiträge zur Kenntnis der Migmatit- und Assimilationsbildungen sowie der synantetischen Reaktionsformen. I. Über Schollenassimilation und Kristallisationsverlauf im Bergeller Granit. Chemie der Erde XII, 5, 304 (1940). — 11. Baçklund, H. G., Der „Magmaaufstieg“ in Faltengebirgen. Bull. Comm. Geol. Finl. 115, 324 ff. (1936). — 12. Broegger, W. C., Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. Die Gesteine der Grorudit-Tinguait-Serie. Kristiania 1894. — 13. Luczizky, Wlad., Der Granit von Kössein im Fichtelgebirge und seine Einschlüsse. Tscherm. Min. Petr. Mitt. 24, 345 (1905). — 14. Drescher-Kaden, F. K., Über granito-dioritische Mischgesteine der Friedeberger Intrusivmasse. N. J. f. Min. 1926, Beil.-Bd. 46, Abt. A. 243. — 15. Böhmig, P. O. Beiträge zur Kenntnis der Gesteine des Greifensteins. Tscherm. Mitt. XVIII. Bd., 4. Heft, 1898. — 16. Graber, H. V., Die Gesteine des oberösterr. Mühlviertels und der Cordierit von Linz. Tscherm. Min. Mitt. 1902. — 17. Drescher-Kaden, F. K., Über Mikroklinholblasten mit Grundgewebeeinschlüssen usw. Notizblatt d. Hess. Geol. L. A. für 1927, 5. Folge, 10 H., S. 246. — 18. Erdmannsdörffer, O. H., Myrmekit und Albitkornbildung in magmatischen und metamorphen Gesteinen. Centr.-Bl. f. Min. Abt. A Nr. 3, 41 ff., 1941. — 19. Goldschmidt, V. M., Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet. Kristiania 1911. — 20. Fischer, G., Über Verbreitung und Entstehung der Titanitfleckengesteine usw. Centr.-Bl. f. Min. Abt. A, 5, 155 (1926). — 21. Marchet, A., Die moldanubischen Gesteine des Waldviertels. II. Teil, Der Gesteinschemismus. Fortschr. d. Min. 25, 317 (1941). — 22. P. Niggli, Das Problem der Granitbildung. Schweiz. Min. u. Petrogr. Mitt. XXII. H. 1 (1942). — 23. Hegemann, F., Über Tektonik und Entstehung dioritähnlicher Gesteine im Bayer. Wald. N. J. f. Min., Beil.-Bd. 65, Abt. A. 233 (1932). — 24. Derselbe, Über Feldspatflecken in Dioriten des Bayer. Waldes usw. N. J. f. Min., Beil.-Bd. 63, Abt. A. 173 (1931).

Straßburg i. E., Juli 1943.

Zur Bestimmung der Lichtbrechung silikatischer Tonminerale.

Von

Miklós Vendel, Sopron, Ungarn.

Mit 1 Abbildung im Text.

I. Problemstellung, Literatur, Theoretisches.

Von den silikatischen Tonmineralien wurden bekanntlich die Veränderungen der Brechungsindizes des Montmorillonits, Beidellits, Nontronits und Halloysits mit dem Wassergehalt und außerdem bei den drei ersten noch die Abhängigkeit der Brechungsindizes von dem Einbettungsmittel beobachtet. In der Literatur findet man diesbezüglich für beide Fälle viele Daten und sogar ausführlichere Untersuchungen stehen uns heute schon zur Verfügung. Während der erste Fall leicht verständlich und gut klargestellt ist¹⁾, kann dies vom letz-

¹⁾ E. S. Larsen und E. T. Wherry, Halloysite from Colorado. J. Wash. Ac. Sc. 7, 178—180 (1917). Ref. Neues Jb. f. Min. Ref. A. 1926II, 327. — Wolf v. Engelhardt, Über silikatische Tonminerale. Fortschr. d. Min. 21, 276—340 (1937). — C. L. Ross und E. V. Shannon, J. Amer. Ceramic. Soc. 9, 77 (1926). Zit. bei W. v. Engelhardt l. c., S. 302. — W. Noll, Zur Kenntnis des Nontronits. Chemie d. Erde 5, 373—384 (1930). — U. Hofmann, K. Endell und D. Wilm, Kristallstruktur und Quellung von Montmorillonit. Z. f. Krist. 86, 340—348 (1933). — W. Noll, Mineralbildung im System $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. N. Jb. f. Min. usw., (1936). Beil. 70, 65—115. — R. H. Ewell und H. Insley, J. of Research., Nat. Bur. of Standards 15, 173 (1935). Zit. bei W. v. Engelhardt l. c. S. 316. — M. Mehmel, Über die Struktur von Halloysit und Metahalloysit, Z. f. Krist. 90, 35—43 (1935). — G. Nagelschmidt, On the lattice Shrinkage and Structure of Montmorillonite. Z. f. Krist. 93, 481—487 (1936). — C. W. Correns und M. Mehmel, Über den optischen und röntgenographischen Nachweis von Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. Z. f. Krist. 94, 337—348 (1936). — U. Hofmann und W. Bilke, Über die innerkristalline Quellung und das Basenaustauschvermögen des Montmorillonits. Koll. Z. 77, 238—251 (1936). — W. Noll, Synthese von Montmorilloniten. Chemie d. Erde 10, 129—154 (1936). — M. Mehmel, Beitrag zur Frage des Wassergehaltes der Minerale Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. Chemie d. Erde 11, 1—16 (1937). — Wolf v. Engelhardt, Über silikatische Tonminerale. Fortschr. d. Min. 21, 276—340 (1937). — U. Hofmann und A. Hausdorf, Kristallstruktur und innerkristalline Quellung des Montmorillonits. Z. f. Krist. 104, 265—293 (1942).

teren nicht gesagt werden und diese Abhandlung soll hauptsächlich zur Bereinigung der hier noch ungeklärten Sachlage beitragen.

Bezüglich dieser Frage dürfte wohl als älteste literarische Angabe jene Beobachtung von Larsen und Wherry aus dem Jahre von 1917 zu erwähnen sein, daß die Brechungsindizes des „Leverrierits“ (= Beidellits) der Buckham- und Esperansagruben von Beidell in einer Mischung von Zimtöl + Nelkenöl mit der Zeit wachsen¹⁾.

Mit der angeschnittenen Frage sich beschäftigende, sehr wichtige Arbeiten wurden im Jahre 1936 von C. W. Correns und M. Mehmel²⁾ und etwas später von F. A. van Baren³⁾ veröffentlicht. Beide Abhandlungen kann man als grundlegend in dieser Frage ansehen.

C. W. Correns und M. Mehmel haben nachgewiesen, daß „die Schwankungen der Brechungsindizes bei der Bestimmung nach der Einbettungsmethode, die für solche Minerale allein in Frage kommt, von verschiedenen Ursachen herrühren. Beim Halloysit und Montmorillonit Schwankungen im Wassergehalt, beim Montmorillonit außerdem vom wechselnden Magnesiumgehalt und vom Einbau von Molekülen des Einbettungsmittels“. Sie weisen ferner noch darauf hin, daß außer dem verschiedenen (natürlichen) Trocknungsgrad bezüglich des Wassergehaltes des Minerals auch noch die Möglichkeit eines Wasserentzuges bei der Herstellung des Präparates entweder durch ein wasserentziehendes Einbettungsmittel (z. B. Glyzerin) oder durch die etwa notwendige Erwärmung (Kanadabalsampräparat) vorliegt. Bezüglich des Montmorillonits bestätigen sie die Feststellung von U. Hofmann, K. Endell und D. Wilm⁴⁾, daß dieses Mineral die Fähigkeit hat, an Stelle des Wassers andere Moleküle einzubauen und teilen mit, „daß bei Verwendung von Chinolin-Paraldehyd-Gemischen die Lichtbrechung steigt, je länger man das Pulver mit der Einbettungsflüssigkeit in Berührung läßt. Der maximale Wert wird erst nach 2—2½ Stunden erreicht. Es wird also Chinolin eingelagert“. Die niedrigsten Brechungsindizeswerte fanden die Genannten in Mischungen von Olivenöl und Zimtöl (zwecks besserer Mischbarkeit wurde dieser Mischung noch etwas Fenchelöl beigelegt). „Hier findet

1) C. Hintze, Handbuch der Mineralogie. Ergänzungsband 1938, S. 61. — E. S. Larsen und E. T. Wherry, J. Wash. Ac. Sc. 7, 208 (1917); ebenda 15, 465 (1925). — W. v. Engelhardt l. c., S. 315. — Kriegsbedingte Umstände machten mir den Gebrauch des Schrifttums schwer, darum konnte ich manches nicht aus erster Hand erhalten.

2) C. W. Correns und M. Mehmel, Über den optischen und röntgenographischen Nachweis von Kaolinit, Halloysit und Montmorillonit. Z. f. Krist. 94, 337—348 (1936).

3) F. A. van Baren, Über den Einfluß verschiedener Flüssigkeiten auf den Brechungsindex von Tonmineralien. Z. f. Krist. 95, 464—469 (1936).

4) U. Hofmann, K. Endell und D. Wilm l. c., S. 343.

offenbar wegen der großen Moleküle keine Anlagerung statt, die Werte dürften den wahren Brechungsindizes am nächsten liegen.“ In einer Mischung von Monobromnaphthalin, Paraldehyd und Zedernöl zeigte der nicht entwässerte Montmorillonit dieselben Werte wie in der Mischung von Olivenöl und Zimtöl, „bei dem bei 105° entwässerten (Montmorillonit) geht aber ein Teil des Paraldehyds in das Gitter und bewirkt zu niedrige Brechungsindizes“. Endlich weisen sie noch auf die Veränderung der Brechungsindizes mit dem Mg-Gehalt hin.

F. A. van Baren¹⁾ hat die auf den Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit bezogene mittlere Lichtbrechung eines Kaolinites, Halloysits, Nontronits, Montmorillonits, zweier Lösses, eines Verwitterungslehms, eines Kalksteins, einer Walkerde, eines Kaolins und mehrerer mariner und fluviatiler Tonböden in 17 verschiedenen Einbettungsflüssigkeiten untersucht. Die Einbettungsflüssigkeiten waren die folgenden: Monochlorbenzol, Äthylenbromid + Monochlorbenzol, Benzylchlorid, Benzylamin, o-Nitrotoluol, Nitrobenzol, Monobrombenzol, Xylidin, o-Anisol, o-Toluidin, o-Anisidin, Anilin, Bromoform, Monojodbenzol + Monobrombenzol (mit den Brechungsindizes von 1,605 und 1,616), Chinolin, α -Tetra-hydro-ar Naphthylamin. Van Baren hat die Tonböden auch nach HCl-Behandlung untersucht, weil so „auch Stoffe mit niedrigem Index in die Untersuchung einbezogen werden könnten. Das Material wurde vorher bei 105° getrocknet, außer Montmorillonit, welches Mineral in lufttrockenem Zustande der Untersuchung unterworfen wurde“. In allen Fällen teilt er den „mittleren wirklichen Index“ mit, wie derselbe mit den Flüssigkeiten von Yawman und Erb gefunden wurde. Diese Flüssigkeiten „bestehen aus Mischungen von „pure refined petroleum mineral oil“ und unvollständig chloriertem mono-chlor-Naphthalin“. Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit können wir folgend zusammenfassen: Die Lichtbrechung der Tonminerale und Tonproben mit Ausnahme des Kaolinites, Halloysits (eigentlich schon Metahalloysit infolge der Trocknung bei 105°) und des Kaolins von Kedoengdang wächst in Flüssigkeiten, welche die basische NH_2 -Gruppe enthalten; in diesen Flüssigkeiten kann also lichtbrechungsteigernde Wirkung festgestellt werden. In den übrigen war eine solche Wirkung nicht nachweisbar. Allerdings entsprach beim Gebrauche von Monochlorbenzol, Monobrombenzol und o-Anisol in je einem Falle die beobachtete Lichtbrechung nicht dem „mittleren wirklichen Index“. Zu beachten ist aber, das unter 561 Daten nur 3 solche vorkommen. Selbst wenn es sich nicht um Druckfehler handelt, können wir dieser Unstimmigkeit aus folgenden Gründen keine größere Bedeutung beimessen: Auch die Tonminerale

¹⁾ F. A. van Baren l. c., S. 464—469.

sind doppelbrechend und darum ist die genaue Bestimmung der mittleren Lichtbrechung nur dann möglich, wenn alle drei Hauptbrechungsindizes festgestellt wurden (denken wir z. B. an den verhältnismäßig stark lichtbrechenden Nontronit). Über die Bestimmung dieser berichtet aber van Baren nicht und so können seine „mittlere wirkliche Brechungsindizes“ offenbar nur annähernde Werte sein, ganz abgesehen davon, daß infolge der Doppelbrechung jeder Schnitt immer je einen den mittleren im allgemeinen über- und unterschreitenden Brechungsindex aufweist. So dürfen wir diesem Vergleich mit dem mittleren Index nur gewissen qualitativen Wert zuschreiben. Besonders ist dies der Fall beim verhältnismäßig stark lichtbrechenden Nontronit. Es wäre wohl sicherer gewesen z. B. entweder den beobachteten größten oder den kleinsten Brechungsindex (nach rascher Durchsicht vieler Schüppchen des Präparates), oder vielleicht die beiden erwähnten Werte anzugeben so, wie das schon U. Hofmann und W. Bilke getan haben¹⁾. Wir können ferner noch darauf hinweisen, daß in der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Individuen eines und desselben Tonminerals aus einer und derselben Probe gewisse Abweichungen vorkommen können, welcher Umstand sich natürlich auch in der Lichtbrechung äußert. Durch solche Abweichungen können z. B. beim Nontronit gewisse Abweichungen in der Farbe erscheinen (in Nontronit von Passau erscheinen neben grünlichgelben Schüppchen auch bräunlichgelbe). Wichtig ist in Verbindung mit dieser Frage die Beobachtung von W. Noll²⁾ an montmorillonitischen Zerfallsprodukten, daß die Lichtbrechung der Körner nicht gleich ist, was er auf fremde Verunreinigungen vielleicht amorpher Natur zurückführt. Erwähnenswert ist in dieser Hinsicht noch die Beobachtung von G. E. Marshall³⁾, daß sich in den von ihm untersuchten Tönen die Lichtbrechung des Montmorillonits etwas veränderte. Nach seiner Meinung kann es möglich sein, daß die Schüppchen mit dem größeren Basenaustauschvermögen den kleineren Index haben. Für strenge Lichtbrechungsuntersuchungen sind nur praktisch homogene oder nahezu homogene Materiale geeignet, als solche können wir in erster Reihe unter den von van Baren untersuchten Stoffen den Montmorillonit, Nontronit, und mit großer Annäherung noch die Walkerde ansprechen. Über die Tonmineralien der übrigen Tonböden fehlen nähere Angaben und schon allein deshalb können die mit solchen

¹⁾ U. Hofmann und W. Bilke l. c., S. 242.

²⁾ W. Noll, Über das Vorkommen von Montmorillonit in einigen Zerstellungsprodukten von Basalten des westlichen Vogelsberges. *Chemie d. Erde* 11 294—306; 300—301 (1938).

³⁾ G. E. Marshall, *Mineralogical methods for the Study of Silts and Clays*. *Z. f. Krist.* 90, 8—34; 33 (1935).

ausgeführten Untersuchungen nur weniger entscheidend gelten als die mit wohldefinierten Tonmineralien ausgeführten.

F. A. van Baren hat noch beobachtet, daß das Verhalten der wirksamen Einbettungsflüssigkeiten nicht in jedem Fall dasselbe war und zwar scheint dieselbe Einbettungsflüssigkeit einmal größere ein andermal aber geringere Wirkung zu haben. „Das wird vielleicht der Heterogenität des Materials oder einer Beimischung von wenig aktiven Mineralien wie Quarz oder dgl., welche in Tonaggregaten zu erwarten sind, zuzuschreiben sein.“ Er weist ferner noch auf den Einfluß der Dicke des Minerals oder Aggregatteilchens auf die Geschwindigkeit der Erscheinung hin.“ Beobachtet wurde, daß dickere Stücke langsamer den höheren Index annahmen als die dünneren Partikeln. Nur beim Gebrauch von Benzylamin war die momentane Einwirkung ganz auffallend, während von den Anilinen der Einfluß wie folgt abzustufen ist: Anilin > o-Toluidin > Xylidin, was möglicherweise mit der Größe der Moleküle zusammenhängt.“ In Verbindung mit den Untersuchungen von Correns und Mehmel teilt er mit, „daß eine Mischung von Olivenöl und Zimtöl keinen Einfluß hat, wird vielleicht dem Umstand zuzuschreiben sein, daß konstitutionschemisch keine NH_2 -Gruppen anwesend sind, da die Größe der Moleküle keine ausschlaggebende Rolle spielt, wie ein Vergleich von Benzylchlorid und Benzylamin zeigen wird.“ Von diesen Verbindungen mit nahezu gleichgroßen Molekülen verursacht die erste, welche wahrscheinlich sogar noch größere Molekül als die zweite hat, gegenüber der zweiten keine Wirkung. Er bestätigt ferner noch, daß auch nach seinen Beobachtungen der Index vom Halloysit nur vom Wassergehalt abhängt.

U. Hofmann und W. Bilke¹⁾ rechneten anläßlich ihrer an Montmorillonit und Nontronit ausgeführten Untersuchungen, bei der Einbettung verschiedener Proben abweichenden Wassergehaltes in verschiedenen organischen Flüssigkeiten (welche sie nicht näher bezeichnen) damit, daß „eine Änderung im Wassergehalt beim Einbetten nicht ausgeschlossen ist, ebenso auch nicht ein geringes Eindringen des Einbettungsmittels zwischen die Schichtebenen“.

Sehr wichtig ist die auf einen Nontronit (Stilpnochloran von Gobitschau) bezügliche Beobachtung von J. Holzner²⁾ aus 1934, daß dieser in Berührung mit der Clericischen Lösung T1 aufgenommen, Alkalien, Ca und Wasser aber abgegeben hat. Also trat Basenaustausch ein und dadurch stieg der n_g des Stilpnochlorans von 1,60 auf

¹⁾ U. Hofmann und W. Bilke l. c., S. 242.

²⁾ J. Holzner, Neue Daten über den Stilpnochloran von Gobitschau (Mähren), zugleich Bericht über eine ungewöhnliche Umtauschreaktion. Zbl. f. Min. usw. 1934, 250—256.

1,67. Holzner erwähnt auch die Dichtevergrößerung des Stilpnchlorans durch die Wechselwirkung mit der Clericischen Lösung.

Die Möglichkeit der Veränderungen der Brechungsindizes in den verschiedenen Einbettungsflüssigkeiten beachten die neueren Arbeiten bereits¹⁾. Der Verfasser²⁾ kann hier aus seinen Beobachtungen anführen, daß in Benzol eingebettet, an solchen Teilen des Präparates des Montmorillonits aus dem Bentonit von Tétény (Ungarn), in welchen die in der Ebene des Objektträgers zur Geltung kommenden Brechungsexponenten anfangs kleiner als derjenige des Benzols ($n_{Na} = 1,5016$ bei 20^0 C) waren, eine den Brechungsexponenten etwas vergrößernde Wirkung des Benzols merklich wurde. Ob Chloroform ($n_{Na} = 1,443$ bei 20^0 C) oder Monochlorbenzol ($n_{Na} = 1,5249$ bei 21^0 C) eine ähnliche Wirkung hat oder nicht, war nicht zu entscheiden. In reinem Chloroform blieben die Brechungsexponenten des Minerals unabhängig von der Dauer der Einbettung immer größer, im reinen Monochlorbenzol aber immer kleiner als jene der Flüssigkeit. W. Noll³⁾, der bei der Bestimmung der Brechungsindizes der als Zersetzungsprodukte von Basalten entstandenen Montmorilloniten Anisöl, Nelkenöl und Zedernöl gebrauchte, weist nur auf die Untersuchungen von Correns und Mehmel in der Frage der Abhängigkeit der Brechungsindizes vom Einbettungsmittel hin.

W. v. Engelhardt⁴⁾ weist, die wichtigeren physikalischen und chemischen Eigenschaften des Nontronits zusammenfassend, darauf hin, daß der Einbau fremder Stoffe in das Gitter der Nontronitminerale möglich ist und daß sich hiermit auch die optischen Eigenschaften dieser Minerale stark ändern. Neuerdings konnte endlich der Verfasser⁵⁾ an Nontronit die ziemlich starke Vergrößerung der Lichtbrechung durch Zimtöl beobachten.

¹⁾ M. Mehmel l. c. in Chemie d. Erde 11, 4—5. — M. Vendel, Neuere Daten zur Kenntnis der Walkerde (Bentonits) von Tétény. Mitt. d. berg- und hüttenmänn. Abt. an der kgl.-ung. Palatin Joseph-Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften. Sopron 9, 320—326; 322—323 (1937). — Derselbe, Bentonit (Walkerde) aus dem Leithakalkstein von Fertőrákos unweit Soprons. Földt. Közl. 68, 89—102; 96. — E. Mägdelfrau und U. Hofmann, Die Kristallstruktur des Montmorillonits. Z. f. Krist. 98, 299—323; 310 (1938). — W. Noll, Über das Vorkommen von Montmorillonit in einigen Zersetzungsprodukten von Basalten des westlichen Vogelsberges. Chemie d. Erde 11, 294—306; 300—301 (1938).

²⁾ M. Vendel, Neuere Daten usw. S. 322—323.

³⁾ W. Noll, Über das Vorkommen von Montmorillonit usw. S. 300.

⁴⁾ W. v. Engelhardt l. c., S. 321.

⁵⁾ M. Vendel, Optische Untersuchung eines Nontronits von Passau. Mitt. d. berg- und hüttenmänn. Abt. an der kgl.-ung. Palatin Joseph-Universität f. technische und Wirtschaftswissenschaften. Sopron 14, 168—170 (1942).

Auf Grund dieser auch die Lichtbrechungsänderungen der Tonminerale behandelnden Arbeiten können wir zusammenfassend sagen, daß die Lichtbrechung eines gegebenen Tonminerals vom Montmorillonit-Nontronittyp von der chemischen Zusammensetzung und Struktur, von Veränderungen des Wassergehaltes und in gewissen Fällen — aus vorläufig noch nicht näher anzugebenden Ursachen — von der zur Bestimmung der Brechungsindizes verwendeten Einbettungsflüssigkeit abhängen. Die letzterwähnte Abhängigkeit können wir der Kürze halber „Einbettungsflüssigkeitwirkung“ oder noch kürzer „Ölwirkung“ nennen.

In Anbetracht des mitgeteilten Sachverhaltes bezweckt diese Arbeit die Klarstellung jener Bedingungen, welche die Bestimmung der Lichtbrechung der vom Gesichtspunkte der Brechung so außerordentliche Unregelmäßigkeiten aufweisenden silikatischen Tonminerale mit der erforderlichen Sicherheit gewährleisten. Wie dies schon Correns und Mehmel¹⁾ betonen, ist die Einbettung die einzige Methode die hier in Betracht kommen kann. Nun aber ist die lichtbrechungsverändernde Wirkung einzelner Einbettungsflüssigkeiten sehr bedeutend, es wäre also wünschenswert, die solchen Einfluß ausübenden Faktoren auf Grund unserer heutigen Kenntnisse festzustellen, um dann mit Berücksichtigung dieser Erkenntnisse die Indexbestimmung in solchen Flüssigkeiten auszuführen, welche die Messung gar nicht oder nur möglichst wenig stören.

Unter den Tonmineralen wurden bei der Bestimmung der Lichtbrechung mittels der Einbettungsmethode an solchen Störungen gefunden, welche reversibles Wasser enthalten, oder außerdem noch den Einbau fremder Stoffe entweder durch Basenaustausch²⁾, oder durch vollständigen Moleküleinbau zulassen.

¹⁾ C. W. Correns und M. Mehmel l. c., S. 337.

²⁾ Da z. B. auch Glimmer, Talk und Feldspat bekanntlich den Basenaustausch zeigen und zwar mit zunehmender Zerkleinerung in steigendem Maße, kann man schließen, daß bei der Bestimmung der Lichtbrechung dieser Minerale in solchen Flüssigkeiten, z. B. in Thouletschen oder Clericischen Lösung, welche den Basenaustausch ermöglichen, grundsätzlich auch die Abhängigkeit der Brechungsindizes von der Einbettungsflüssigkeit zu erwarten ist, wobei auch das Maß der Zerkleinerung eine Rolle spielen kann.

Allerdings kann auch schon die Veränderung des Oberflächenzustandes eine solche Folgerung zulassen. Prof. A. Romwalter hat mich darauf aufmerksam gemacht, daß Veränderungen physikalischer Eigenschaften als Funktion der Dispersität nicht unbekannt sind. So z. B. wird die Tension flüchtiger oder die Löslichkeit löslicher Stoffe mit zunehmender Dispersität größer. Die Ursache dieser Veränderungen ist die mit dem Grade der Dispergierung verbundene Veränderung der Oberflächenenergie. Ebenso ist bei sehr feiner Zerkleinerung auch ohne chemische Veränderung eine Veränderung der Brechungsindizes vorstellbar. Es wäre interessant, Versuche auszuführen, ob die hier skizzierten Überlegungen bestehen oder nicht.

Ein Teil der chemischen Komponenten eines Tonminerals vom Halloysit- oder Montmorillonittyp ist im Gitter fest gebunden und kann nur durch gänzliche Zerstörung des Kristalls entfernt werden, andere Bestandteile aber sind aus dem Gitter verhältnismäßig leicht entfernbar oder austauschbar, ohne daß hierdurch das Gitter zerfällt, beziehungsweise das Tonmineral zu existieren aufhört. Im folgenden möchte ich den in starker Bindung befindlichen Teil des Tonminerals kurz als „stabilen“, den leicht entfernbaren hingegen den „labilen“ Teil nennen. Zum labilen Teil gehört z. B. im Falle eines Montmorillonits das Quellungswasser und die austauschbaren Kationen, alle übrigen sind aber stabile Komponenten. Somit rechne ich noch zum stabilen Teile denjenigen Teil des Minerals, dessen Austausch mindestens prinzipiell möglich ist, obgleich auf diese Weise schon ein neues Tonmineral, aber ohne Veränderung des Gittertyps entsteht (= isomorphe Vertretung). Es ist nämlich vorstellbar, daß durch den Austausch dieses Teiles z. B. aus Montmorillonit (hauptsächlich mit Fe-Eintritt) Nontronit entsteht.

Es soll nun versucht werden, diejenigen bekannten oder nachfolgend berücksichtigten Faktoren zusammenzustellen, welche durch Veränderung der Brechungsindizes bei der Einbettung eine Rolle spielen können.

Als Hauptfaktoren können genannt werden:

1. Die Einbettungsflüssigkeit verursacht in der chemischen Zusammensetzung des Tonminerals eine Veränderung ohne zugleich eine wesentliche Veränderung des Gitters oder der Struktur herbeizuführen. Wenn eine solche Veränderung im stabilen Teile eintritt, dann wird — wie schon erwähnt wurde — die Mineralart verändert. Z. B. baut Eiseneintritt einen Montmorillonit (wenigstens prinzipiell) in Nontronit um (isomorphe Vertretung). Diesen Fall können wir aber hier ruhig außer acht lassen, da die bei der Bestimmung der Brechungsindizes gewöhnlich üblichen organischen Flüssigkeiten einen solchen Umbau ausschließen. Es ist aber bei längerwährender Einbettung dennoch möglich, daß in einigen Fällen auch mit dem stabilen Teile des Tonmaterials eine Reaktion zustandekommt, die man im Wesen für eine Herauslösung halten kann.

Die Veränderung der Zusammensetzung in den üblichen Einbettungsflüssigkeiten kann aber am leichtesten im labilen Teile eintreten. Unter solchen Verhältnissen fehlt bekanntlich eine wesentliche Gitter- oder Strukturveränderung. Hierher gehört der Kationenaustausch (Basenaustausch), ferner der Ein- oder Austritt des Quellungswassers (des reversiblen Wassers, das allerdings auch in der Hydratation der austauschbaren Kationen eine hervorragende Rolle spielt), außerdem noch der eventuelle Einbau fremder Moleküle aus der Einbettungsflüssigkeit im allgemeinen in Form der Solvation.

2. Die Einbettungsflüssigkeit kann bekanntlich auch die Dichte des Tonminerals verändern. Die Dichte hat aber auch auf die Lichtbrechungsverhältnisse, auf die Molrefraktion, also auch auf die Brechungsindizes Einfluß.

Zur Vermeidung der in dem ersten Punkte skizzierten Veränderungen müssen wir offensichtlich eine solche Einbettungsflüssigkeit gebrauchen, welche den isomorphen Umbau des stabilen Teiles, die Lösung gewisser Bestandteile aus diesem, bzw. die vollständige Zerstörung des Gitters nicht herbeiführen kann. Gleichfalls notwendig ist noch, daß eine wesentliche Veränderung: Wassereintritt oder -austritt im labilen Teile, ferner ein Basenaustausch oder irgendwelcher Einbau aus der Einbettungsflüssigkeit oder eine eventuelle Dissoziation der austauschbaren Kationen in der Einbettungsflüssigkeit vermieden werde.

Der zweite Punkt verlangt solche Einbettungsflüssigkeiten, in welchen das spezifische Volum und so natürlich auch die Dichte des Tonminerals unverändert bleibe.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß wir solche Einbettungsflüssigkeiten verwenden müssen, in welchen das Tonmineral sozusagen in seinem ursprünglichen, natürlichen Zustand verbleibt. Es fragt sich, ob eine solche Flüssigkeit überhaupt zu finden ist oder nicht. Auf Grund theoretischer Überlegungen, der Literatur, ferner auf eigene Erfahrung gestützt glaube ich, daß sich unter den vielen für diesen Zweck gebräuchlichen Flüssigkeiten doch einige finden, in welchen zumindest eine größere Veränderung der Lichtbrechung ausbleibt.

Daß unter den zur Einbettung gewöhnlich gebrauchten Flüssigkeiten auch solche vorkommen, welche offensichtlich des tiefergreifenden, lösenden Angriffes auf Tonmineralmoleküle fähig sind, weiß ich aus eigener Erfahrung. Eine solche Flüssigkeit ist z. B. das vielgebrauchte Bromoform. In dieser Flüssigkeit kann mit der Zeit im Tageslicht freies Brom entstehen und äußerst wirksam werden. Bei längerwährender Einbettung in Bromoform konnte ich beobachten, daß es Montmorillonit angreift. Die ursprünglich gelblich-grünliche Schüppchen werden hierdurch stark rotbräunlich-bräunlichrot und aus dem Bromoform schieden sich mehr-minder gefärbte Kristallgebilde aus.

Für die Veränderungen der Brechungsindizes durch Ein- oder Austritt labilen Wassers findet man viele Daten in der Literatur (siehe diesbezüglich die Arbeiten auf S. 325 unter Anm. 1). Die Rolle des labilen Wassers in Verbindung mit der wasserentziehenden Wirkung der Einbettungsflüssigkeiten erwähnen schon Correns und

Mehmel¹⁾, als sie auf eine solche Wirkung des Glyzerins hinwiesen. Sie heben auch den Einbau von Molekülen in das Mineral hervor. Nach meiner Meinung dürfte es sich da oft um eine Solvation mit Wasseraustausch handeln. Die genaue Prüfung dieser Fälle ergibt schon auf Grund der bisher besprochenen Beobachtungen die merkwürdige Erkenntnis, daß eine merkliche Lichtbrechungsstörung in solchen Einbettungsflüssigkeiten eintritt, die in Wasser mehr oder minder löslich sind und im allgemeinen auch selbst Wasser lösen. Demgegenüber zeigte sich gewöhnlich keine merkliche Störung in Flüssigkeiten, die in Wasser praktisch unlöslich sind und selbst auch kein Wasser lösen. Die kleinsten Indizes nicht entwässerter Montmorillonite usw. wurden in diesen letzteren Einbettungsflüssigkeiten gefunden. Auf Grund der erhaltenen kleinen Brechungsindizes kann man aber mit Recht darauf schließen, daß in diesen Fällen weder ein wesentlicher Wasserverlust, noch ein nennenswerter Einbau der Flüssigkeit erfolgte. In den Tabellen 1 und 2 versuchte ich die in der Literatur in Verbindung mit der Frage der Lichtbrechungsveränderung erwähnten Einbettungsflüssigkeiten mit ihren gegenseitigen Löslichkeitsverhältnissen (Flüssigkeit — Wassersysteme) zusammenzustellen. Leider fand ich in der mir derzeit zur Verfügung stehenden chemischen Literatur über die Löslichkeit dieser Flüssigkeiten in Wasser viel weniger Angaben als umgekehrt. Ich möchte noch bemerken, daß wässrige Lösungen, wie die Thouletsche oder Clericische in diesen Tabellen schon darum nicht berücksichtigt wurden, da hier Wassereintritt ohne weiteres möglich ist (abgesehen davon, daß auch ein Basenaustausch möglich ist). Die Tabelle 1 enthält Einbettungsflüssigkeiten, in welchen Lichtbrechungsstörungen beobachtet wurden, Tabelle 2 aber gibt einen Überblick über solche, die angeblich nicht stören²⁾. Neben den Löslichkeitsdaten sind in diesen Tabellen noch andere physikalische oder physikochemische Eigenschaften der Flüssigkeiten angegeben, die bei der Beurteilung der in Rede stehenden Frage eine gewisse Rolle spielen können. Über die Bedeutung der statischen Grenzflächenspannung, Dipolmomente und dielektrischen Konstante wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein³⁾.

¹⁾ C. Correns und M. Mehmel l. c., S. 339.

²⁾ Einige Löslichkeitsangaben, welche nur aus den Originalarbeiten zu entnehmen wären, konnte ich bei dem gegenwärtigen Schriftumsverkehr überhaupt nicht beschaffen (obwohl mir auch mehrere Originalarbeiten zugänglich waren).

³⁾ Über die Rolle von Dipolmomenten, Polarisierung, Dielektrizitätskonstanten ferner Oberflächenspannung liest man in den Arbeiten von Wo. Ostwald und H. Orloff, Zur Kenntnis der Rolle von Dielektrizitätskonstante, Polarisierung und Dipolmoment in kolloiden Systemen. IX. Über Quellung und Löslichkeit von Azetylzellulose und ihre Beziehungen zu dielektrischen Größen.

Schon eine flüchtige Betrachtung dieser Tabellen kann uns überzeugen, daß wasserlösliche und demgemäß auch Wasser lösende Flüssigkeiten stören, also zur Bestimmung der Brechungsindizes der in Rede stehenden Minerale unbrauchbar sind. Die Wirkung können wir durch Lösung einzelner Bestandteile des Minerals und falls die Einbettungsmoleküle Dipolmoment haben auch durch einbauende Solvation an Stelle des herausgelösten Wassers erklären.¹⁾

Bei der Beurteilung der Löslichkeitsverhältnisse können wir auch die an der Berührungsfläche des Wassers mit der Einbettungsflüssigkeit erscheinenden statischen Grenzflächenspannungswert in Betracht ziehen. An der Berührungsfläche zweier ineinander nicht oder nur begrenzt löslichen Flüssigkeiten entsteht bekanntlich die statische Grenzflächenspannung. Im allgemeinen sinkt dieser Wert mit der gegenseitigen Löslichkeit der beiden Flüssigkeiten. Wenn wir von diesem Gesichtspunkte die zur Einbettung gebräuchlichen Flüssigkeiten prüfen, soweit solche Daten in der Literatur vorhanden sind, so zeigt sich, daß man tatsächlich in denjenigen Flüssigkeiten, die gegen Wasser eine große statische Grenzflächenspannung haben, keine Störungen der Lichtbrechung und Dichte fand, in solchen aber, deren Grenzflächenspannung dem Wasser gegenüber geringer ist, merkliche Störungen vorkommen. In den Tabellen habe ich auch — hauptsächlich mittels der in den Landolt-Börnsteinschen Tafeln angegebenen Werte — Grenzflächenspannungen zusammengestellt aus welchen der Sachverhalt möglichst klar hervorgeht.

F. A. van Baren²⁾ rät ab, bei der Bestimmung der Brechungsindizes der Tonminerale Amine zu gebrauchen. Die von ihm verwendeten Amine sind aber in Wasser mehr-minder löslich und da umgekehrt wohl auch die Amine mehr oder weniger Wasser lösen, ist der störende Einfluß nicht nur mit der einfachen Anwesenheit der Amingruppe in diesen Verbindungen zu erklären. Später werden wir bezüglich der Amine noch darauf hinweisen, daß bei ihrer Verwendung infolge der eintretenden Hydrolyse auch die Möglichkeit des Kationenaustausches nicht ausgeschlossen ist, also von dem so erfolgenden Einbau und auch den dadurch bedingten Störungen der Lichtbrechung die Rede sein kann.

Unserer Ansicht nach kann sich in den störenden Flüssigkeiten mindestens ein Teil des Quellungswassers auflösen (oder umgekehrt)

Koll. Z. 59, 25—32 (1932); ferner von W. L. H. Moll, Untersuchungen über die Quellung und Löslichkeit hochmolekularer Stoffe. Koll. Z. 85, 335—341 (1938). Dielektrische Untersuchungen über die Einwirkung organischer Lösungsmittel auf hochmolekulare Stoffe. Koll. Beih. 49, 1—79 (1939).

¹⁾ Die Untersuchung etwaiger Wirkungen der induzierten Polarisation soll in dieser Mitteilung noch unterbleiben.

²⁾ F. A. van Baren l. c., S. 469.

Erklärungen zu den Tabellen 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 8.

○ Bedeutet praktische Unlöslichkeit.

+ Bedeutet praktische Löslichkeit.

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Glyzerin . . .	$C_3H_5(OH)_3$	+∞ hygroskopisch	+∞
Paraldehyd .	$(C_2H_4O)_3$		+12,5 %
Benzylamin .	$C_6H_5 \cdot CH_2 \cdot NH_2$	+∞	+∞
Xylidin . . .	$C_6H_3(CH_3)_2 \cdot NH_2$ Das technische Xy- lidin besteht etwa aus 50—60 % m-, 15—20 % p- und der Rest aus den übrigen 3 bei Zim- mertemperatur flüssigen Modifi- kationen		+m in kaltem Was- ser schwer, in warmem Wasser ziemlich; p in warmem Wasser etwas lös- lich; o wenig
o-Toluidin . .	$C_6H_4 \cdot CH_3 \cdot NH_2$	+2,5 % (20° C)	+1,6 % (20° C) 1,69 % (20° C)
o-Anisidin . .	$C_6H_4(O \cdot CH_3)NH_2$		
Anilin	$C_6H_5 \cdot NH_2$	+5 % (20° C)	+3,1 und 3,611 % (20° C)
ar-Tetrahydro- α-Naphthyl- amin	$C_{10}H_7 \cdot NH_2$		+wenig
Chinolin . . .	C_9H_7N	+sehr hygro- skopisch	+5,7 %
Zimtöl	Bestandteile: Zimtaldehyd C_9H_8O		○
	Zimtsäure $C_9H_8O_3$		○ In kaltem Wasser schwer, in heißem leicht 0,0604 % (30° C)
	Essigsäurezimt- ester Essigsäurephenyl- propylester		
Nelkenöl (Eugenol)	Eugenol $C_{10}H_{12}O_2$		+ ? sehr wenig

belle 1.

Die Grenze der Löslichkeit wählte ich nach dem Merckschen Index bei etwa 1/300.

Man könnte statt dem prozentualen Wert des gelösten Stoffes vielleicht zweckmäßiger die molekulare Menge desselben angeben.

Statische Grenzflächenspannung		Dipolmoment μ	Dielektrische Konstante			Siedepunkt $t^{\circ}\text{C}$	Brechungsindex bei $\sim 20-22^{\circ}\text{C}$ n_D
$t^{\circ}\text{C}$	$\rho \frac{\text{A B}}{\text{dyn cm}}$		λ	$t^{\circ}\text{C}$	ε		
	0	2,7	ca. 1200	15	56,2	290	1,463
30	9,6	$\sim 2,0$	73	20	$\sim 11,8$	124	1,404
	0	Ja	∞	20	4,6	183	1,544
			m 84	20	4,90	m 215	
		Ja				p 215 o 223	$\sim 1,56$
		1,4—1,7	84	20	5,93	197	1,573
		1,4—1,6				218	1,576
26	4,8	1,5—1,6	∞	18	7,316	184	1,581
		Ja				~ 280	1,631
		2,1—2,3				239	1,624
		3,7				~ 247	
		1,8				300	$\sim 1,608$
		Ja					
		Ja				247,5	1,544

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Monochlorbenzol	C_6H_5Cl		○ 0,049 % (30° C)
Monobrombenzol	C_6H_5Br		○ 0,045 % (30° C)
Monojodbenzol .	C_6H_5J		○ 0,034 % (30° C)
Äthylenbromid .	$C_2H_4Br_2$		○
Benzylchlorid .	$C_6H_5 \cdot CH_2Cl$		○
Nitrobenzol . .	$C_6H_5 \cdot NO_2$	○ ~ 0,2 % (20° C)	○ 0,19 % (20° C)
o-Anisol	$C_6H_5 \cdot O(CH_3)_2$		○
Bromoform . . .	$CHBr_3$		○ 0,125 % (15° C)
Benzin	Verschiedene Kohlenwasser- stoffe	○ 0,0049 bis 0,0072 % (10° C) 0,0079 bis 0,0113 % (25° C)	○ 0,0017—0,0034 % (25° C) 0,008 % (20° C) 0,0009—0,0030 % (10° C)
Petroleum . . .		○ 0,005 % (18° C)	○
Zimtöl	Bestandteile: Zimtaldehyd C_9H_8O		○
	Zimtsäure $C_9H_8O_2$		○ In kaltem Wasser schwer, in hei- ßem leicht; 0,0546 % (20° C) 0,0604 % (30° C)
	Essigsäurezimt- ester Essigsäurephenyl- propylester		
α-Monobrom- naphthalin . .	$C_{10}H_7Br$	○	○
α-Monochlor- naphthalin . .	$C_{10}H_7Cl$	○ ?	○
Zedernöl	Bestandteile: Cedren $C_{15}H_{24}$	○ ?	○ ?
	Cedrol $C_{15}H_{28}$	○ ?	○ ?
Olivenöl	Bestandteile: Vorherrschend Triolein $C_3H_5(O \cdot C_{18}H_{33}O)_3$ und 28 % feste Glyzeride		○
Benzol	C_6H_6	○ 0,05—0,07 % (~ 20—22° C)	○ 0,02—0,07 % (~ 20—22° C) 0,185 % (30° C)

belle 2.

Statische Grenz- flächenspannung		Dipol- moment μ	Dielektrische Konstante			Siede- punkt $t^{\circ}\text{C}$	Brechungs- index bei $\sim 20-22^{\circ}\text{C}$ n_D
$t^{\circ}\text{C}$	$\rho \text{ A B}$ $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$		λ	$t^{\circ}\text{C}$	ε		
		1,5—1,6	∞	10,8	10,95	132	1,522
		1,5—1,6	∞	20	5,2	155	1,559
		125				185	1,833
		0,9—1,2	∞	18	4,865	131	1,538
		1,7—1,9				178	1,541
18	24,1	3,8—4,2	∞	18	36,45	205	1,550
		1,2—1,3	∞	20	4,35		1,515
		1,0	∞	20,7	4,51	151	1,597
20	48,3	$\sim 0-0,5$	∞	17	1,8—2,2	zwischen 50—150	$\sim 1,41-1,42$
20	48,3	$\sim 0-0,5$	∞	21	2,07 bis 2,14	zwischen 150—350	$\sim 1,44-1,46$
		3,7				~ 247	
		1,8				300	$\sim 1,608$
		Ja					
		1,5—1,6	∞	19	5,17	279	1,657
		1,6—1,7				263	1,633
		0,4					$\sim 1,515$
20	18,2	3,1—3,2					1,469
20	32,6—35,0	0	∞	18	2,288	80,4	1,502

und sofern die Einbettungsflüssigkeit polar ist, kann sie an Stelle des austretenden Wassers gelangend, statt der Ionhydratation Ionsolvatation herbeiführen.

Es ist allerdings sehr interessant, daß unter den Flüssigkeiten die van Baren als nichtstörend fand, auch solche vorkommen, die ein großes Dipolmoment haben¹⁾. Z. B. Nitrobenzol 3,9—4,2; Benzylchlorid 1,7—1,9 und im allgemeinen noch mehrere mit Momenten über 1, so Monochlorbenzol, Monobrombenzol, Monobromnaphthalin usw., also mit gar nicht zu vernachlässigenden Werten.

Man könnte erwarten, daß das Dipolmoment bei der Einbettung hinsichtlich des Einbaues der Moleküle eine größere Rolle spielt. Dies wurde aber wenigstens bei den Brechungsindexstörungen weder auf Grund der Untersuchungen von van Baren noch derjenige von Correns und Mehmel bestätigt.

Hier sind wohl auch Bemerkungen über Veränderungen des spezifischen Volums, bzw. der Dichte von Tonmineralen durch das Einbettungsmittel am Platze.

N. S. Anderson und Sante Mattson²⁾ haben zuerst bemerkt, daß das spezifische Gewicht des Tones sich je nach der zur Messung verwendeten Flüssigkeiten ändert. Das spezifische Gewicht von sechs, bei 110° getrockneten und nach Tunlichkeit entgasten Tonböden war stets in Wasser gemessen viel größer als in Toluol. Die Unterschiede bewegten sich zwischen 0,106—0,213. Ähnliche Ergebnisse hatte auch M. W. Tschapek³⁾, der u. a. die Dichte zweier Böden in Wasser, Benzol, Xylol, Benzin und Petroleum bestimmte. Das uns interessierende Ergebnis seiner Untersuchungen ist, daß im Falle eines hydrophilen Adsorbenten (wie es jeder Boden ist) die Bestimmung des spezifischen Gewichtes (der Dichte) in einer apolaren Flüssigkeit auszuführen ist. (NB. Die von ihm gebrauchten apolaren Flüssigkeiten sind praktisch in Wasser unlöslich und umgekehrt.)

Diesbezügliche eingehende Untersuchungen hat noch E. W. Russell⁴⁾ ausgeführt. Er hat das spezifische Volum von Tonböden in

¹⁾ In den Tabellen 1 und 2 gebe ich nach Möglichkeit auch die Dipolmomente an. Diese Angaben stammen hauptsächlich aus Besprechungen in den verschiedenen Bänden des Chemischen Zentralblattes, sowie aus G. C. Hampson und R. J. B. Marsden „A table of Dipole Moments“. Transactions of the Faraday Society 30 (1934), II. Appendix I—LXXXVI zusammengestellt.

²⁾ N. S. Anderson und Sante Mattson, Properties of the colloidal soil material. United States Department of Agriculture. Dep. Bull. No. 1452, 1—45 (1927).

³⁾ M. W. Tschapek, Zur Bestimmungsmethodik des spezifischen Gewichtes der hydrophilen und hydrophoben Pulver. Koll. Z. 63, 34—36 (1933).

⁴⁾ E. W. Russell, The interaction of Clay with Water and Organic Liquids as Measured by Specific Volume Changes and its Relation to the Phenomena of

apolaren oder nur sehr wenig polaren und außerdem noch in stärker polaren Flüssigkeiten untersucht. Die verwendeten apolaren oder nur schwach polaren Flüssigkeiten waren die folgenden: Benzol, Toluol, Xylol, Paraffin (Paraffinöl?), Tetralin und Dekalin, die polaren aber: Wasser, Amylalkohol, Anilin und Nitrobenzol. Nach seinen Feststellungen war eine Wechselwirkung zwischen dem Ton und apolaren Flüssigkeiten nicht zu bemerken, welcher Umstand sich so kundgibt, daß das spezifische Volum in jeder dieser Flüssigkeiten praktisch immer gleich gefunden wurde. Demgegenüber war in den polaren Flüssigkeiten die Wechselwirkung feststellbar; die im Pyknometer bestimmte Dichte, also auch das spezifische Volum, änderte sich infolge dieser Wechselwirkung und zwar wuchs die Dichte, also sank das spezifische Volum.

Auf Grund der Daten der hier zitierten Arbeiten wurden die Tabellen 3 und 4 zusammengestellt. Die Tabelle 3 enthält die das spezifische Volum (oder die Dichte) verändernden, die Tabelle 4 aber die nicht störenden Flüssigkeiten. In den Tabellen sind außer dem Siedepunkt und Brechungsindex auch noch einige physikalische und physikochemische Zahlenwerte neben den Löslichkeitsverhältnissen angeführt, die bei der Beurteilung der hier vorliegenden Frage von Einfluß sein können.

Russell nimmt als die wahre Dichte oder das wahre spezifische Volum diejenigen Werte, welche in Tetralin gefunden wurden (er hielt das Tetralin für sehr geeignet zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Tone) und mit diesem Wert vergleicht er die Abweichungen, die sich in polaren Flüssigkeiten zeigen. Nach seiner Annahme verändert sich das spezifische Volum (*mutatis mutandis* dürfen wir auch sagen die Dichte) in den verschiedenen Flüssigkeiten je nachdem der Ton die Flüssigkeit adsorbiert; er betrachtet ferner das in apolaren Flüssigkeiten gemessene spezifische Volum als das richtige. Aus unserem Gesichtspunkte ist noch jene Feststellung Russells bedeutungsvoll, daß, obgleich es derzeit noch nicht bekannt ist, welche Eigenschaft der Flüssigkeit die Adsorption bestimmt, soviel aber dennoch festgestellt werden kann, das eine merkliche Adsorption mit großem Dipolmoment verbunden ist, obgleich dieser Zusammenhang die Flüssigkeitsreihenfolge nicht erklärt. Seiner Ansicht nach kann man die Adsorption der polaren Moleküle durch die Tone in erster Reihe mit dem elektrischen Felde in Verbindung bringen, welches sich um die von der Tonoberfläche abdissoziierten Kationen und die negativ aufgeladene Tonoberfläche ausbildet.

Russell hat die größte Abnahme des spezifischen Volums unter den von ihm gebrauchten Flüssigkeiten in Wasser, dann in Amyl-

Ta -

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Wasser . . .	H_2O	$+ \infty$	$+ \infty$
i-Amylalkohol	$C_5H_{11} \cdot OH$	$+ 9,6\%$ ($20^\circ C$)	$+ 2,6—2,8\%$ ($20—22^\circ C$)
Anilin . . .	$C_6H_5 \cdot NH_2$	$+ 5\%$ ($20^\circ C$)	$+ 3,1$ und $3,611\%$ ($20^\circ C$)
o-Xylidin . .	$C_6H_3(CH_3)_2 \cdot NH_2$		$+ \text{wenig}$
Dimethylanilin	$C_6H_5 \cdot N(CH_3)_2$	Verhält sich dem Anilin ähnlich	
Benzylalkohol	$C_6H_5 \cdot CH_2 \cdot OH$		$+ 3,6\%$
Benzylchlorid	$C_6H_5 \cdot CH_2Cl$		\bigcirc
Nitrobenzol .	$C_6H_5 \cdot NO_2$	$\bigcirc \sim 0,2\%$ ($20^\circ C$)	$\bigcirc 0,19\%$ ($20^\circ C$)

Ta -

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Benzol . . .	C_6H_6	$\bigcirc 0,05—0,07\%$ ($\sim 20—22^\circ C$)	$\bigcirc 0,02—0,07\%$ ($\sim 20—22^\circ C$) $0,185\%$ ($30^\circ C$)
Toluol . . .	$C_6H_5 \cdot CH_3$	$\bigcirc 0,03—0,05\%$ ($\sim 20—22^\circ C$)	$\bigcirc 0,05\%$ ($22^\circ C$)
Xylol (o, m, p)	$C_6H_4(CH_3)_2$	$\bigcirc 0,02—0,04\%$ ($20^\circ C$) $0,0185\%$ ($10^\circ C$)	$\bigcirc 0,01\%$ ($22^\circ C$)
Benzin . . .	Verschiedene Kohlenwasser- stoffe	$\bigcirc 0,049—0,072$ ($10^\circ C$) $0,079—0,0113$ ($25^\circ C$)	$\bigcirc 0,0017—0,0034\%$ ($22^\circ C$) $0,008\%$ ($20^\circ C$)
Petroleum . .		$\bigcirc 0,005\%$ ($18^\circ C$)	\bigcirc
Paraffinöl . .		$\bigcirc 0,003\%$ ($18^\circ C$)	\bigcirc
Tetralin . . .	$C_{10}H_8 \cdot H_4$	$\bigcirc ?$	\bigcirc
Dekalin . . .	$C_{10}H_8 \cdot H_{10}$	$\bigcirc ?$	\bigcirc

alkohol, Anilin und die kleinste in Nitrobenzol gefunden. Diese Reihenfolge erwies sich als von der Natur des austauschbaren Kations fast unabhängig. Wenn wir die Löslichkeit des Wassers in diesen Flüssig-

belle 3.

Statische Grenzflächenspannung		Dipolmoment μ	Dielektrische Konstante			Siedepunkt $t^{\circ}C$	Brechungsindex bei $\sim 20-22^{\circ}C$ n_D
$t^{\circ}C$	$\rho \text{ A B}$ $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$		λ	$t^{\circ}C$	ϵ		
20	0	1,7—1,9	∞	18	81,1	100	1,333
20	4,4	1,6—1,9	91	18	5,7	131	1,408
26	4,8	1,5—1,6	∞	18	7,316	184	1,581
		Ja				223	1,560
		1,4—1,6	∞	20	4,48	193	1,589
		1,6—1,8	∞	20	13,0	204	
		1,7—1,9				178	1,540
18	24,1	3,8—4,2	∞	18	36,45	205	1,550

belle 4.

Statische Grenzflächenspannung		Dipolmoment μ	Dielektrische Konstante			Siedepunkt $t^{\circ}C$	Brechungsindex bei $\sim 20-22^{\circ}C$ n_D
$t^{\circ}C$	$\rho \text{ A B}$ $\frac{\text{dyn}}{\text{cm}}$		λ	$t^{\circ}C$	ϵ		
20	32,6—35,0	0	∞	18	2,288	80,4	1,502
30	34,6	0,3—0,5	∞	21	2,39	110	1,494
		o 0,4—0,6 m 0,3—0,5 p o	o ∞ ∞	 17 17	 2,567 2,376	~ 139	1,496
20	48,3	$\sim 0-0,5$	∞	17	1,8 bis 2,2	zwischen 50—170	$\sim 1,41-1,42$
20	48,3	$\sim 0-0,5$	∞	21	2,07 bis 2,14	zwischen 150—350	$\sim 1,44-1,46$
		$\sim 0-0,5$	∞	20	2,1179	> 360	$\sim 1,47-1,48$
		o				206,5	1,543
		o				~ 190	1,476

keiten berücksichtigen und annahmen, daß der von Russell verwendete Amylalkohol im Wesen i-Amylalkohol war (von Richtigkeit dieser Annahme konnte ich mich wegen der Kriegslage nicht überzeugen; der

i-Amylalkoholgehalt des Merckschen Amylalkohols (Alkohol amylicus puriss.) beträgt z. B. nach dem Index der Firma¹⁾ 80% und bekanntlich ist diese Verbindung in Wasser merklich löslich), dann können wir sagen, daß die von Russell beobachtete spezifische Volumabnahme im allgemeinen mit der Löslichkeit des Wassers in den Einbettungsflüssigkeiten wächst.

Russell teilt ferner die Abweichung des sp. Volums eines Tones vom richtigen in Anilin, o-Xylidin und Dimethylanilin mit. Nach seinen Bestimmungen waren die spezifischen Volumabnahmen in diesen Flüssigkeiten nahezu gleich. Im großen und ganzen können wir diese Ergebnisse auch mit den Löslichkeitsverhältnissen in Parallele bringen.

Endlich hat Russell noch in Benzylchlorid und Benzylalkohol gearbeitet und hat auch in diesen Flüssigkeiten abweichende spezifische Volumina gefunden im Vergleich mit den in Tetralin gemessenen. Über diese Untersuchungen teilt er aber keine näheren Angaben mit, obgleich gerade das Verhalten in Benzylchlorid interessant wäre, denn diese Verbindung gilt als in Wasser praktisch unlöslich auf Grund der bisherigen Kenntnisse (bezüglich der umgekehrten Löslichkeit steht mir keine Angabe zur Verfügung) und somit besteht vielleicht in diesem Falle ein gewisser Widerspruch gegenüber der oben mitgeteilten, auf die Löslichkeitsverhältnisse gegründeten Vorstellung.

Gleichfalls interessante Folgerungen kann man aus jener Beobachtung F. A. van Baren²⁾ ableiten, daß obgleich die auf die Brechungsindizes ausgeübte Wirkung des Benzylamins unter den aminischen Einbettungsflüssigkeiten vom ersten Augenblick an sehr auffallend war, in der Reihe der Aniline die Indizes doch nur langsamer wachsen und zwar in der folgenden Ordnung: Anilin > o-Toluidin > Xylidin, die wieder gleichlaufend mit den Löslichkeitsverhältnissen zu sein scheint, wenigstens soweit die verfügbaren lückenhaften Löslichkeitsdaten eine solche Folgerung zulassen.

Die in den polaren Flüssigkeiten gefundenen spezifischen Volumabnahmen oder Dichtezunahmen müßten sich gegenüber den in den apolaren gemessenen auch durch entsprechende Änderungen der Brechungsindizes äußern, teils infolge des Einbaues neuer Stoffe, teils aber infolge der Veränderung der Dichte (abgesehen davon, ob dieselbe durch stoffliche Veränderungen herbeigeführt wird oder nicht), wenn in diesen merkwürdigen Bildungen, wie es die Glieder der Montmorillonit-Nontronitfamilie sind, der labile Teil aus Gesichtspunkten der chemischen Mechanik gleichwertig mit dem stabilen Teil ist und mit diesem in jedem Fall normale Moleküle bildet, für welche die auf Moleküle bezügliche Gesetzmäßigkeiten, wie z. B. die Mol-

¹⁾ Mercks Index. 5. Aufl. (1937) S. 37.

²⁾ F. A. van Baren l. c., S. 468—469.

refraktion, gültig sind. Jedenfalls ist es interessant, daß weder Correns und Mehmel noch van Baren Anomalien erwähnen, obgleich sie bei ihren Untersuchungen auch stark polare Einbettungsflüssigkeiten, z. B. Nitrobenzol, Benzylchlorid, Zimtöl, Olivenöl verwendeten und sogar bei 105° C getrockneten Mineralproben, in welchen der Einbau wahrscheinlich leichter als in reichlicher wasserhaltigen erfolgen kann. Darum können wir vorläufig auf Grund der bisherigen Daten sagen, daß die in Rede stehenden Veränderungen des spezifischen Volums oder der Dichte in der Lichtbrechung wahrscheinlich keine wesentlichere Störung verursachen. Immerhin ist Vorsicht geboten und bis zur endgültigen Klärung dieser Frage nach Möglichkeit die Verwendung apolarer Einbettungsflüssigkeiten zu empfehlen.

Die Rolle der Löslichkeitsverhältnisse bei Brechungsindexveränderungen können wir im allgemeinen so erklären, daß sich die Moleküle der kein Wasser lösenden (und im Wasser nicht löslichen) Einbettungsflüssigkeit, wenn sie auch ein wesentliches Dipolmoment hat, infolge der Wasserhülle nicht dem hydratierten Teile (bzw. den abdissoziierten Ionen) im inneren Raum und auch nicht den (nicht dissoziierten) austauschbaren Kationen zwischen den Silikatschichten und an den Rändern nähern und so auch mit dem Mineralmolekül nicht in Verbindung treten können¹⁾. Selbst im Falle, wenn die Proben bei 105° C getrocknet werden, kann diese Annäherung in geringem Maße möglich sein, weil das Mineral noch immer ziemlich viel Wasser enthält. Auch die Vorstellung Russells²⁾ verdient Beachtung, daß innerhalb der zwischen der Doppelschicht der negativ geladenen trocknen Tonoberfläche und der abdissoziierten Kationen die Wassermoleküle infolge ihrer Dipolmomente geordnet Platz nehmen. Doch scheint die Bindung neuer Dipole nur dann möglich, wenn aus dem Mineral in die Flüssigkeit neue Kationen abdissoziieren können, wenn also die dielektrische Konstante der Einbettungsflüssigkeit groß ist. Auf diese Weise wäre nämlich zwischen den Einbettungsmolekülen und der Tonoberfläche eine Bindung vorstellbar, wie sie Russell zwischen

¹⁾ Siehe dazu: G. E. Marshall l. c., S. 8—34. — G. Wiegner, IX. Congr. Int. d. Quimica Madrid 1934, 7; Transactions of the 3. Int. Congr. of Soil Science. III. 1936. — U. Hofmann und W. Bilke l. c., S. 248—250. — U. Hofmann und K. Giese, Über den Kationenaustausch an Tonmineralien. Koll. Z. 87, 21—36 . . . 35—36 (1928). — J. E. Giesekeing, The mechanism of cation exchange in the montmorillonite-beidellite-nontronit type of clay minerals. Soil Science 47, 1—14 (1939). — W. Noll, Synthese von Montmorilloniten. Chemie d. Erde 10, 147—148 (1936). — U. Hofmann und A. Hausdorf l. c., S. 267 und S. 293. — W. P. Kelley und H. Jenny, The relation of crystal structure to base exchange and its bearing on base exchange in soils. Soil Science 41, 367 bis 382 (1936).

²⁾ E. W. Russel l. c., S. 363—364.

Wasser und Tonmineral annimmt. Die abdissoziierten neuen Kationen befänden sich also in solvatiertem Zustande.

Bezüglich der Möglichkeit des Kationenaustausches weisen wir auf die niedrigeren Brechungsindizes der mit HCl behandelten Tonminerale und Tone van Baren¹⁾ gegenüber den in natürlichem Zustand befindlichen hin. Die vorigen verwandelten sich nämlich mit großer Wahrscheinlichkeit in H-Tonminerale, bzw. in H-Tone und verdanken ihre Lichtbrechungsabnahme dieser Veränderung. Gleichfalls auf Kationenaustausch deutet der von J. Holzner²⁾ nachgewiesene Tl-Einbau gegenüber Alkali-, Ca- und Wasserabgabe im Falle des Stilpnochlorans hin, durch welchen Vorgang auch die Zunahme des n_g bedingt war. In Verbindung mit dem Einbau des Thalliums sagt J. Holzner³⁾ über der Wassergehaltsveränderung folgendes: „ H_2O-110^0 ist in Form neutraler Moleküle eine Zwischenschicht bildend anzunehmen, in welcher Schicht auch die großen Kationen Ca^{2+} usw. zu suchen sind. Durch den Eintritt der doppelten Anzahl der sehr viel größeren Tl^{1+} -Ionen findet ein großer Teil der ursprünglich vorhandenen H_2O -Moleküle keinen Raum.“ Während es sich im Falle des Stilpnochlorans offenbar nur um die Rolle des labilen Teiles handelt, kann man dies im vorigen Falle mangels einer näheren Angabe über die Behandlung mit HCl nicht sicher behaupten, obzwar auch hier in erster Reihe mit dem Angriff auf den labilen Teil zu rechnen ist. Aber welcher Erklärung man auch zuneigt, die Rolle des labilen Wassers im Kationenaustausch ist offenkundig. Beim Kationenaustausch muß infolge der mit verschiedenen Ionenradien und Ladungen wechselnde Ionhydratation im allgemeinen eine Änderung des Wassergehaltes eintreten.

Den Zusammenhang des Kationenaustausches mit der Lichtbrechung ausführlich behandelnde Arbeiten sind mir nicht bekannt. Obgleich es prinzipiell denkbar wäre, daß man auf Grund der in der Literatur angegebenen chemischen Analysen und Brechungsindexbestimmungen hinsichtlich der die Lichtbrechung beeinflussenden Wirkung der austauschbaren Kationen mindestens eine annähernde Folgerung ziehen kann, ist in Wirklichkeit dieser Weg doch nicht als sicher anzusprechen, denn nicht in jedem Fall sind die zur Bestimmung der Lichtbrechung verwendeten Einbettungsflüssigkeiten angegeben, so daß man nicht beurteilen kann, ob eine Ölwirkung fehlte oder nicht, ferner in den meisten Fällen auch Angaben über den Trocknungsgrad der Tonminerale fehlen, dieser aber bekanntlich auch eine sehr wesentliche Rolle bei der Änderung der Lichtbrechung spielt und endlich weil sich aus den Zahlen der Bauschanalyse nicht mit notwendiger

¹⁾ F. A. van Baren l. c., S. 465—467.

²⁾ J. Holzner l. c., S. 252—256.

³⁾ J. Holzner l. c., S. 256.

Sicherheit herausstellt, was von den kationischen Komponenten austauschbar ist.

Die auf 100g trockenes Material bezogenen austauschbaren Basen machen z. B. in den Mineralen der Montmorillonitgruppe auf Grund der Literatur etwa 50—100 mval aus¹⁾, also bereits eine Menge, welche Änderungen der Brechungsindizes herbeiführen kann.

Bezüglich der Größe der in Tonminerale einföhrbaren Kationen erschien eine wichtige Abhandlung von J. E. Giesecking²⁾. Nachdem er mit H. Jenny³⁾ zusammen schon früher bemerkte, daß Methylenblau im Ton von Putnam einen sehr wirkungsvollen Basenaustausch herbeiföhrte, untersuchte er das Austauschvermögen großsubstituierter Ammoniumionen der Typen: NH_3R^+ , NH_2R_2^+ , NHR_3^+ im Falle eines Montmorillonits und eines Nontronits, ferner zweier solcher Tonfraktionen, in welchen der Montmorillonit-Beidellit-Nontronit-Teil angereichert wurde. Die dispergierten Tone behandelte er mit wässerigen Lösungen der Hydrochloride oder Hydrojodide verschiedener großmolekularer Amine der obigen Typen, so mit Piperidin, Methylenblau, Pyridin, Anilin, Brucin, Tributylmonoheptylammoniumjodid, β -Naphthylamin, Gelatin, Magdalarot und föhrte diese großen Kationen in die Tonminerale auch ein. Er stellt u. a. fest, daß die Entfernung der Silikatschichten im Falle der Sättigung mit großen Ammoniumionen größer ist als im Falle der Einföhrung kleinerer Kationen, wie Ca oder H. Auf Grund von Röntgenuntersuchungen folgerte er, daß ein Teil der komplexen Kationen im wechselnden Raume zwischen den Schichtebenenpaketen adsorbiert wurde. Montmorillonit adsorbierte die großen Kationen sehr stark. Diese waren mit Kationen nahezu gleicher Größenordnung austauschbar, nicht aber mit Wasserstoffionen, welche bekanntlich sehr wirkungsvoll beim Austausch kleiner Kationen sind. Die mit großen Ammoniumionen gesättigten Montmorillonite zeigen keine Wasseradsorption, Quellung und Dispersion, welche sonst so charakteristisch für Ca-, Na- und H-Montmorillonite sind. Auch die Entfernung der Schichtebenenpakete ändert sich mit dem Wassergehalt der Systeme nicht. Diese Erscheinungen können vielleicht unserer Ansicht nach wenigstens teilweise mit der Ionhydratation in Verbindung stehen. Die Hydratation der größeren Ionen ist bekanntlich infolge ihrer größeren Ionradien (bei Voraussetzung gleicher Ionladungen) kleiner als im Falle kleinerer Ionradien⁴⁾ und so ist es ver-

¹⁾ Siehe dazu z. B. W. v. Engelhardt l. c., S. 311—312, 316, 325 und 327.

²⁾ J. E. Giesecking l. c., S. 1—14.

³⁾ J. E. Giesecking und H. Jenny, Behavior of polyvalent cations in base exchange. Soil Science 42, 273—380 (1936).

⁴⁾ Siehe dazu z. B. P. Vageler, Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens, 1932, S. 33 oder G. W. Robinson, Die Böden, ihre Entstehung, Zusammensetzung und Einteilung 1939, S. 134.

ständig, daß die Hydratation dieser großen Kationen nur sehr gering sein kann. Auch bei der Quellung geben die verschiedenen Verfasser der Hydratation der abdissoziierten Ionen eine gewisse Rolle¹⁾, somit ist auch das praktische Ausbleiben der Quellung im Falle sehr schwach hydratisierter Ionen verständlich. Die Hydratationshülle ist allerdings auch noch auf Grund der neuesten Untersuchungen von U. Hofmann und A. Hausdorf²⁾ anzunehmen. Laut ihrer Mitteilungen ist die Menge der Wassermoleküle in den Wasserschichten und deren ebene Ausbildung noch nicht sicher bestimmt, wahrscheinlich ist aber, daß die austauschbaren Kationen teils nach Art der Glimmer an der Oberfläche der Silikatschichten gebunden sind und „durch ihre Hydratation und Dissoziation die innerkristalline Quellung bewirken, oder wenigstens beeinflussen“.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß nach Giese-
kings Ergebnissen die Einfuhr sehr großer Gebilde in die Tonminerale des Montmorillonit-Nontronittyps möglich ist und somit die Feststellung von van Baren³⁾, daß im Einbau fremder Stoffe die Molekülgröße eine nicht unbedingt entscheidende Rolle spielt, bestätigt wurde. Unserer Ansicht nach ist die Einfuhr größerer Gebilde besonders dann möglich, wenn die Moleküle gerade kettenartig oder flächenhaft gebaut sind. Obgleich bei jedem Molekültyp eine obere Größengrenze für den Einbau anzunehmen ist, muß diese Grenze offenbar bei solchen Strukturen am ungünstigsten sein, welche auch in der dritten Dimension bedeutende Ausdehnung haben.

Damit sind wir in der Reihe der den labilen Teil betreffenden Veränderungen zur Frage der Kationdissoziation gelangt. In Verbindung mit der Wasseraufnahme ist es annehmbar, daß die Zahl der abdissoziierten Ionen mit jener symbar wachsen kann, etwa infolge der Verdünnung. Die Zahl der abdissoziierten Kationen ist nach dieser Annahme wahrscheinlich von wechselndem Wert⁴⁾. Mutatis mutandis kann alldies auch von den wasserlösenden und zur Solvatation fähigen Einbettungsflüssigkeiten behauptet werden (z. B. Äthylalkohol, Glycerin usw.). Aus diesem Gesichtspunkte müssen wir also prinzipiell eine solche Einbettungsflüssigkeit (z. B. Paraffinöl, Benzol usw.) verwenden, in welcher die Dissoziation der Kationen des Tonminerals praktisch unmöglich ist, um die Zahl der in das Quellungswasser schon ursprünglich abdissoziierten Kationen nicht zu verändern. Demgemäß ist es erwünscht, daß die Einbettungsflüssigkeit eine möglichst kleine dielektrische Konstante habe. Bei der Überprüfung der bisherigen

¹⁾ P. Vageler I. c., S. 106.

²⁾ U. Hofmann und A. Hausdorf I. c., S. 292—293 und 270.

³⁾ F. A. van Baren I. c., S. 469.

⁴⁾ U. Hofmann und W. Bilke I. c., S. 248.

Untersuchungen über die Brechungsindizesveränderungen zeigen sich aber in dieser Hinsicht auch Widersprüche. So stört z. B. nach van Baren¹⁾ Nitrobenzol nicht. Dieses hat aber eine ziemlich hohe dielektrische Konstante (36,45 bei 18°; λ ca. 10^4 cm), während die dielektrische Konstante des stark störenden Benzylamins klein ist (4,6 bei 20°; λ ca. 10^4 cm) usw. Auch aus diesen Daten geht hervor, daß eine so komplexe Frage, wie die Bestimmung der Lichtbrechung der Tonminerale auf Grund nur je einer Ursache nicht zu beurteilen ist. Wenn wir aber die dielektrischen Konstanten mit den Löslichkeitsverhältnissen zusammen berücksichtigen, dann wird das Verhalten der beiden Flüssigkeiten schon besser verständlich.

Die Wasser nicht lösende Flüssigkeit kann sich den noch nicht abdissoziierten Kationen des im natürlichen Zustand befindlichen oder bei 105° C getrockneten Tonminerals infolge der Anwesenheit des labilen Wassers nicht oder nur schwer hinreichend annähern, selbst dann, wenn überschüssige, vom Dipolmoment stammende elektrische Kräfte den eventuellen Einbau ihrer Moleküle auch ermöglichen würden. Theoretisch können wir also bei der Dissoziation der Kationen auch den Löslichkeitsverhältnissen eine Rolle zusprechen.

Nun noch einiges über die in der Einleitung schon erwähnte Lichtbrechungsstörende Wirkung des apolar gebauten Benzols im Falle eines Montmorillonits und des polaren Zimtöls im Falle eines Nontronits. Die beobachtete indexerhöhende Wirkung des Benzols nach längerwährender Einbettung kann höchstens nur einige Einheiten in der dritten Dezimale erreichen. Da die Verbindung apolar und die dielektrische Konstante sehr klein ist, werden in diesem Falle in erster Reihe die Löslichkeitsverhältnisse zur Geltung kommen. Die Löslichkeit des Wassers in Benzol ist auf Grund der literarischen Daten bei 20—22° C 0,05—0,07 % (auch umgekehrt gelten ungefähr dieselben oder vielleicht etwas größere Zahlen) und diese geringe, aber doch merklliche Löslichkeit kann für eine kleine Störung in der Lichtbrechung schon genügen. Infolge der Lösung nimmt natürlich der Wassergehalt des Minerals ab und damit steigt der Brechungsindex²⁾.

Zimtöl-Olivenölgemische mit etwas Fenchelöl befanden Correns und Mehmel³⁾ bei Montmorillonit und Halloysit als nicht störend, während ich⁴⁾ bei einem Nontronit eine lichtbrechungssteigernde Wir-

¹⁾ F. A. van Baren l. c., S. 466—467.

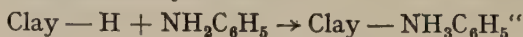
²⁾ In dieser Arbeit wurde noch nicht untersucht, welche Rolle bei der vorliegenden Störung vielleicht (infolge Induktionswirkung) die leichtere Polarisierbarkeit der Doppelbindungen enthaltenden Benzolmoleküle spielen kann.

³⁾ C. W. Correns und M. Mehmel l. c., S. 399—341.

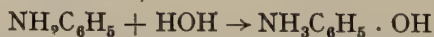
⁴⁾ M. Vendel, Optische Untersuchung eines Nontronits von Passau, l. c., S. 168—170.

kung des Zimtöls beobachten konnte. Der Hauptbestandteil des Zimtöls ist der Zimtaldehyd. Die Aldehyde sind aber bekanntlich im allgemeinen ziemlich veränderliche Verbindungen: Verharzung, Polymerisation und auch der Zerfall in Säure und Alkohol (auf Einwirkung von Alkalien die sog. Cannizzarosche Reaktion) sind möglich. An derartige Wirkungen können wir hier infolge der Wechselwirkung zwischen dem Aldehyd und dem Nontronit (vielleicht durch Oberflächenkatalyse) wohl denken. Außerdem ist noch zu beachten, daß im Zimtöl außer dem Zimtaldehyd noch andere Bestandteile vorhanden sind, die aber eventuell wasserlöslich und wasserlösend sein können. Die nachgewiesenen Bestandteile des Zimtöls sind¹⁾ außer dem etwa 75—90 % erreichenden Zimtaldehyd noch der Essigsäurezimester, der Essigsäurephenylpropylester und die Zimtsäure. Der Zimtaldehyd und die Zimtsäure gelten als in Wasser unlösliche Verbindungen (über die umgekehrte Löslichkeit konnte ich leider keine Angaben finden), die Löslichkeit der zwei anderen Bestandteile fand ich in der Literatur nicht. Die Anwesenheit oder die Abwesenheit wasserlöslicher Komponenten in einer solchen Einbettungsflüssigkeit kann aber zu abweichenden Lichtbrechungswerten führen.

Endlich möchte ich über die von van Baren²⁾ erwähnte störende Wirkung der Amine ergänzend noch einiges erwähnen. Es wurde schon besprochen, daß die Amine im allgemeinen nicht wasserunlöslich sind und es ist denkbar, ja z. B. im Falle des Anilins sogar erwiesen, daß dies auch umgekehrt gilt. Außer diesen Löslichkeiten kann man hier auch dem Basenaustausch und einer katalytischen Reaktion zwischen Amin- und Tonmineral lichtbrechungsverändernde Wirkungen zuschreiben. Schon Russell³⁾ hat auf eine im Wesen als Basenaustauschreaktion anzusprechende Wirkung bei in Amine eingebetteten H-Tone hingewiesen: „the amine group opens up and is adsorbed to give a substituted ammonium clays, thus



Eine andere Möglichkeit ergibt sich in Anwesenheit von Wasser im Tonmineral durch Hydrolyse nach der folgenden Reaktion (z. B. gleichfalls im Falle von Anilin):



Das so entstandene substituierte Ammoniumkation ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+$) kann aber durch Kationenaustausch in das Mineral eintreten.

Die von F. A. van Baren untersuchten Tonminerale wurden auch mit HCl behandelt und somit in H-Tone umgewandelt, worauf die

¹⁾ F. Ullmann, Enzyklopedie der technischen Chemie. 2. Aufl. 8. Bd., S. 775 (1931).

²⁾ F. A. van Baren l. c., S. 468—469.

³⁾ E. W. Russell l. c., S. 386.

nach Russell zitierte Wirkung auch in diesen Fällen (wegen der Einbettung in Aminen) zur Geltung kommen konnte.

A. Eisenack¹⁾ hat beobachtet, daß sich die vom Ton adsorbierten Amindämpfe infolge der katalytischen Wirkung der Tone zwar langsam, aber schon bei gewöhnlicher Temperatur oxydieren, es entstehen Farbstoffe und farblose Nebenprodukte und der Ton färbt sich. „Weiter konnte festgestellt werden, daß als Säurerest bei der Farbstoffbildung die Tonsubstanz (bzw. Kaolin oder Silikagel usw.) selbst wirksam ist, wie sie etwa auch aus ätherischen Lösungen der Farbbasen diese unter Farbstoffbildung adsorbiert.“ Bei längerwährender Einbettung in Aminen ist also auch mit solchen Wirkungen zu rechnen.

Im dargestellten Sinne scheint besonders die Lichtbrechung der Tonminerale des Montmorillonit-Nontronittyps vom Einbettungsöl abzuhängen. Ich bin mir darüber ganz klar, daß in der behandelnden Frage von endgültigen Ergebnissen noch nicht die Rede sein kann, da unsere heutigen Kenntnisse über die Eigenschaften dieser Minerale in vielen Hinsichten noch mangelhaft sind. Wahrscheinlich ist aber, daß durch Berücksichtigung der in dieser Arbeit aufgezählten bekannten und möglichen oder denkbaren Fehlerquellen die zur Lichtbrechungsbestimmung verwendeten Einbettungsflüssigkeiten so gewählt werden können, daß man unbedingt weit bessere und zuverlässigere Werte erhält als bisher.

Zusammenfassend können wir sagen, daß die zur Bestimmung der Brechungsindizes der Tonminerale von Montmorillonit-Nontronittyp (oder Charakter) anzuwendenden Einbettungsflüssigkeiten die folgenden Eigenschaften haben sollen:

1. In chemischer Hinsicht muß die Flüssigkeit gegenüber jedem Teile des Tonminerals inaktiv sein.
2. Wasser darf sie nicht lösen und umgekehrt muß sie in Wasser unlöslich sein; einen Wasserentzug durch Hygroskopizität darf sie nicht herbeiführen.
3. Kationenaustausch (Basenaustausch) soll sie nicht ermöglichen.
4. Die Ionen der Tonminerale dürfen in ihr nicht dissoziieren.
5. Ihre Moleküle müssen apolar sein.²⁾
6. Ihre Lichtbrechung muß von entsprechender Größe sein.
7. Die verwendeten Flüssigkeiten sollen miteinander in jedem Verhältnis mischbar sein und sollen annähernd gleiche Siedepunkte haben.
8. Sie seien möglichst gut definierte Verbindungen.

¹⁾ A. Eisenack, Katalytische Wirkung von Tönen und anderen silikatischen Mineralien und Verbindungen auf aromatischen Amine und Phenole. Zbl. f. Min. A. 1938, 305—308.

²⁾ Es ist anzunehmen, je geringer die induzierte Polarisierbarkeit ist, desto besser.

Diese Bedingungen, ferner das erforderliche Lichtbrechungsintervall, welches ungefähr zwischen 1,46 und 1,67 liegt, können wir leider nicht in jeder Hinsicht gewährleisten. Flüssigkeiten, die man als untere Grenze in den Gemischen verwenden kann, gibt es sogar mehrere. Eine viel schwierigere Aufgabe ist aber eine in jeder Hinsicht entsprechende solche zu finden, deren Lichtbrechung die obere Grenze des erwünschten und oben angegebenen Intervalls erreicht oder möglichst noch etwas übertrifft. Vom Gesichtspunkte der unteren Grenze scheinen diejenigen Glieder der gesättigten Kohlenwasserstoffe C_nH_{2n+2} (Paraffine) die geeignetsten zu sein, die zwar schon einen höheren Siedepunkt haben, bei Zimmertemperatur aber noch flüssig sind (etwa Tridekan oder Tetradekan), oder mangels dieser gut definierten Verbindungen noch Paraffinöl, Petroleum oder Benzin. Als apolare Verbindung kann vielleicht auch Dekalin oder Zylohexan als Notlösung in Frage kommen, obwohl die Löslichkeitsverhältnisse dieser Verbindungen schon hinter der vorerwähnten zu bleiben scheinen. Ich möchte noch bemerken, daß auch die bei Zimmertemperatur noch flüssigen und entsprechend hohen Siedepunkt aufweisenden Olefine (Glieder der ungesättigten Kohlenwasserstoffreihe C_nH_{2n}) wahrscheinlich keine größere Störung der Lichtbrechung verursachen, da die erwünschten Eigenschaften derselben, besonders aber die Löslichkeitsverhältnisse noch sehr gut entsprechen (wahrscheinlich viel besser als die des Dekalins oder Zylohexans). Ziemlich gute Eigenschaften haben noch Benzol, Toluol, und die drei Xylole, die Löslichkeitsverhältnisse dieser sind aber schon schlechter als die der Paraffine. Außerdem haben sie im allgemeinen auch eine größere Lichtbrechung als die erwünschte untere Grenze.

Eine Flüssigkeit, die der erwünschten oberen Grenze des erforderlichen Lichtbrechungsintervalls unserer Tonminerale entspräche und in jeder Hinsicht die besten Eigenschaften zeigen würde, kennen wir leider unter den derzeit bekannten organischen Flüssigkeiten nicht. Für Montmorillonite kann vielleicht noch das Tetralin in Frage kommen, aber die Löslichkeitsverhältnisse desselben scheinen den Paraffinen nicht gleichzukommen. Man könnte auch an das apolare CS_2 denken, aber außer seinem zu niedrigen Siedepunkt sind auch seine Löslichkeitsverhältnisse nicht die günstigsten. So muß man sich auf Kosten irgendwelcher Eigenschaft abfinden, bis eine in jeder Hinsicht entsprechende Verbindung bekannt wird. Auf Grund der bisherigen Daten, sowie auf Grund meiner im zweiten Teile dieser Arbeit geschilderten Untersuchungen scheint die am meisten vernachlässigbare Eigenschaft das Dipolmoment zu sein¹⁾ und wenn man von diesem absieht, dürfte in vielen Fällen das α -Monobromnaphthalin ($n_D = 1,659$

¹⁾ Wenigstens im wasserreichen Zustande des Minerals.

bei 20° C) oder vielleicht noch das α -Monochlornaphthalin ($n_D = 1,633$ bei 20° C) entsprechen. Bei der Verwendung des α -Monobromnaphthalins fand ich, wie darüber später noch berichtet wird, einstweilen keine größeren Störwirkungen.

F. A. van Baren¹⁾ hat bei seinen Untersuchungen zur Bestimmung der „mittleren wirklichen Indizes“ mit den Flüssigkeiten von Yawman und Erb sozusagen intuitiv recht gut entsprechende Einbettungsmittel erwählt. Diese Flüssigkeiten bestehen aus „pure refined mineral oil“ und „unvollständig chloriertem mono-chlor-Naphthalin“. Vom Gesichtspunkte der Löslichkeitsverhältnisse entspricht jede dieser Flüssigkeiten und dasselbe ist auch über ihre chemische Inaktivität und teilweise auch über ihre Molekülsymmetrie zu sagen. F. A. van Baren²⁾ hat in keiner der von ihm vergleichsweise verwendeten Einbettungsflüssigkeiten kleinere Indizes als die sich in den Flüssigkeiten von Yawman und Erb ergebenden gefunden und durfte darum die in den letzteren erhaltenen Werte wohl mit genügendem Recht als richtig betrachten. Auch aus diesen Untersuchungen können wir schließen, daß weder das Dipolmoment noch die dielektrische Konstante die wichtigsten Faktoren bei der Bestimmung der Brechungsindizes in Einbettungsflüssigkeiten sind. Dagegen sprechen alle bisherigen Ergebnisse dafür, daß die Löslichkeitsverhältnisse eine hervorragende Rolle spielen.

Zu berücksichtigen ist noch die etwaige Wirkung des adsorbierten (oder okkludierten) Gasgehaltes der Tonminerale bei der Brechungsbestimmung, von welchem diese oft nur mühsam befreit werden können. Diesbezügliche Untersuchungen fehlen einstweilen, ich glaube aber, daß es sich hier kaum um wesentliche Wirkungen handeln kann.

II. Lichtbrechungsuntersuchungen über einen Montmorillonit.

Mit Berücksichtigung der in dem ersten Teile dieser Arbeit besprochenen Überlegungen und Erfahrungen erwählte ich mehrere Einbettungsflüssigkeiten um die Lichtbrechung eines Montmorillonits zu bestimmen. Mit Flüssigkeiten, welche sich bei den oben erwähnten Arbeiten verschiedener Verfasser bereits als ungeeignet erwiesen, glaubte ich keine ausführlichen Versuche machen zu müssen. Zur Orientierung habe ich dennoch das qualitative Verhalten (die Lichtbrechung erhöhende oder die Doppelbrechung verändernde Wirkung) einiger solcher und außerdem mancher in der Praxis sonst öfters gebrauchter Flüssigkeiten beobachtet.

¹⁾ F. A. van Baren l. c., S. 468.

²⁾ F. A. van Baren l. c., S. 468.

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Paraffinöl I .	Verschiedene Kohlenwasser- stoffe	○ 0,003 % (18° C)	○
Paraffinöl II .			
Petroleum I .		○ 0,005 % (18° C)	○
Petroleum II .			
Benzin		○ 0,0049 bis 0,0072 % (10° C) 0,0079 bis 0,0113 % (25° C)	○ 0,0017 bis 0,0034 % (22° C) 0,008 % (20° C) 0,0009—0,0030 % (10° C)
Benzol	C_6H_6	○ 0,05—0,07 % (~ 20—22° C)	○ 0,02—0,07 % (~ 20—22° C) 0,185 % (30° C)
Toluol	$C_6H_5 \cdot CH_3$	○ 0,03—0,05 % (20—22° C)	○ 0,05 % (22° C)
Xylol (o, m, p)	$C_6H_4(CH_3)_2$	○ 0,02—0,04 % (20° C) 0,0185 % (10° C) 0,0130 % (25° C)	○ 0,01 % (22° C)
Dekalin	$C_{10}H_{18} \cdot H_{10}$	○ ?	○
Tetralin	$C_{10}H_8 \cdot H_4$	○ ?	○
Monochlor- benzol	C_6H_5Cl		○ 0,0488 % (30° C)
Monobrom- benzol	C_6H_5Br		○ 0,0446 % (30° C)
α -Monobrom- naphthalin . .	$C_{10}H_7Br$	○	○
Tetrachlor- kohlenstoff .	CCl_4	○ 0,00844 % (20° C) 0,0109 % (30° C)	○ 0,08 % (20° C)
Nitrobenzol .	$C_6H_5 \cdot NO_2$	○ ~ 0,2 %	○ 0,19 % (~ 20° C)
Anilin	$C_6H_5 \cdot NH_2$	+ 5 % (20° C)	+ 3,1 und 3,6 % (20° C)
Nelkenöl (Eugenol)	Eugenol $C_{10}H_{12}O_2$		+ ? sehr wenig

belle 5.

Statische Grenzflächen- spannung		Dipol- moment μ	Dielektrische Konstante			Viskosität		Siede- punkt	Bre- chungs- index bei 20— 22° C n_D
t° C	$\rho \frac{A B}{\text{dyn cm}}$		λ	t° C	ϵ	t° C	in C G S- Einheiten		
		~ 0—0,5	∞	20	2,1179	18	1,018	>360	1,475 1,481
20	48,3	~ 0—0,5	∞	21	2,07 bis 2,14	20	0,01054 bis 0,02375	zwischen 150—350	1,449 1,458
20	48,3	~ 0—0,5	∞	17	1,8 bis 2,2		~ 0,006	zwischen 50—170	1,414
20	32,6 bis 35,0	0	∞	18	2,288	20	0,00642	80,4	1,502
30	34,6	0,3—0,5	∞	21	2,39	20	0,005993	139	1,494
		o 0,4—0,5 m 0,3—0,5 p 0	o ∞ m ∞	17 17	2,567 2,376	20	o 0,008102 m 0,006200 p 0,006475	~139	1,496
		o						~190	1,476
		o						206,5	1,543
		1,5—1,6	∞	10,8	10,95	20,1	0,00803	132	1,522
		1,5—1,6	∞	20	5,2	21,9	0,01123	155	1,559
		1,5—1,6	∞	19	5,17			279	1,657
20	45,1	0	∞	76	2,10	21,2	0,009578	76	1,460
18	24,1	3,8—4,2	∞	18	36,45	20	0,0198	205	1,550
26	4,8	1,5—1,6	∞	18	7,316	20	0,0440	184	1,581
		Ja				25	0,06931	247,5	1,544

Einbettungs- flüssigkeit	Formel der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit des Wassers in der Ein- bettungsflüssigkeit	Die Löslichkeit der Einbettungsflüssig- keit in Wasser
Zimtöl	Bestandteile: Zimtaldehyd C_9H_8O		○
	Zimtsäure $C_9H_8O_2$		○ In kaltem Wasser schwer, in heißem leicht 0,0604 % (30° C)
	Essigsäurezimt- ester Essigsäurephenyl- propylester		
Anisöl	Bestandteile: Anethol $CH_3 \cdot O \cdot C_6H_5 \cdot CH$ $CH \cdot CH_3$		○
	Anissäure $CH_3 \cdot O \cdot C_6H_4 \cdot CO_2H$		○
	Acetaldehyd $CH_3 \cdot CHO$		+
	Methylcavicol		
	Anisoketon		
Glyzerin . . .	$C_3H_5(OH)_3$	+ ∞; sehr hygroskopisch	+ ∞
Paraldehyd .	$(C_2H_4O)_3$		12,5 %
Benzaldehyd .	$C_6H_5 \cdot CHO$		○ + 0,3 % (20° C)
Azeton	C_3H_6O	+ ∞	+ ∞

Sämtliche Messungen und Beobachtungen wurden an einem von mir schon früher optisch und genetisch untersuchten Montmorillonits des Bentonits von Tétény in Ungarn ausgeführt¹⁾. Die bei diesen Untersuchungen gebrauchten Einbettungsflüssigkeiten und ihre hier zu berücksichtigenden Daten (Formel, Löslichkeiten, statische Grenzflächenspannungen gegen Wasser, Dipolmomente, Brechungsindizes, Siedepunkte, dielektrischen Konstanten, soweit sie zu finden waren),

¹⁾ M. Vendel, Neuere Daten zur Kenntnis der Walkerde usw., I. c., S. 320 bis 326. — Derselbe, Biotitdazituff von Kistény. Geol. Mitt. (Földtani Közlöny) 50, 119—123 (1920).

Tabelle 5.

Statische Grenzflächen- spannung		Dipol- moment μ	Dielektrische Konstante			Viskosität		Siede- punkt	Bre- chungs- index bei 20 bis 22° C n_D
t° C	ϱ A B dyn cm		λ	t° C	ϵ	t° C	in C G S- Einheiten		
		3,7						~247	
		1,78						300	~1,608
		Ja							
		Ja						233 275—280 21	1,560
	0	2,7	ca. 1200	15	56,2			290	1,463
30	9,6	~ 2,0	73	20	~118	20	0,0118	124 180	1,404 1,54
	0	2,6—2,8	∞	20	21,5			56	1,361

gibt die Tabelle 5 an. Mit den ersten 14 Flüssigkeiten, die auf Grund der mitgeteilten Überlegungen als die entsprechendsten gelten können, habe ich ausführliche Versuche durchgeführt, bezüglich der 8 folgenden aber, die für unsere Zwecke im allgemeinen als ungeeignet oder fast ungeeignet (Nitrobenzol!) erscheinen, habe ich nur das qualitative Verhalten untersucht.

Die rohen Ergebnisse der Messungen gibt die Tabelle 6. Wie ersichtlich weichen auch die in gleichen Flüssigkeitsgemischen (Petroleum-Tetralin) zu verschiedenen Zeiten gemessenen Brechungsindizes von einander stark ab. Die Ursache dieses Verhaltens ist bekanntlich die

Veränderung der Wasserdampfension. Eben deshalb berücksichtigte ich bei den Messungen auch die Witterung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge). Diesbezüglich kann ich jene Feststellung Correns und Mehmels¹⁾ bestätigen, daß auch schon unter gewöhnlichen Umständen, wie z. B. Tonminerale in der Sammlung liegen, ihr Trocknungsgrad verschieden sein kann und auch dieser Umstand mag es verursachen, daß man in der Literatur über die Brechungsindizes derselben so abweichende Werte findet. Die Abb. 1 stellt eine

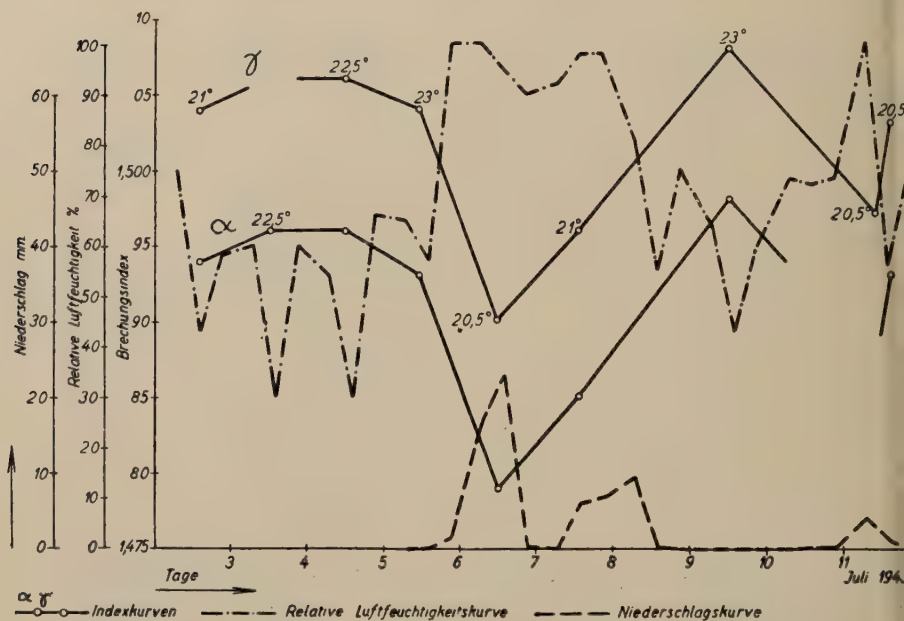


Abb. 1.

an mehreren Tagen in Petroleum-Tetralingemischen ausgeführte Meßreihe graphisch dar. Ein Fenster des Zimmers war vor Messungsbeginn etwa eine Stunde lang geöffnet. Die Ordinatenachse der Darstellung bezieht sich auf die gemessenen kleinsten und größten Lichtbrechungswerte, ferner auf die Hygrometerangaben in Prozenten und außerdem noch auf die Niederschlagsmenge in Millimetern. Neben den Brechungsindizes schrieb ich noch die entsprechenden Temperaturen. Die Abszissenachse gibt die Zeit an. Die meteorologischen Daten stammen aus der Witterungsstation unserer Universität zu Sopron. Die Witterungsablesungen wurden täglich dreimal und zwar um 7, 14 und 21 Uhr durchgeführt. Obzwar, infolge der nicht geläufigen meteorolo-

¹⁾ C. W. Correns und M. Mehmel l. c., S. 339.

Tabelle 6.

Tag der Messung	Einbettungsflüssigkeit	α	γ	$\gamma - \alpha$
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	$1,497 \pm 0,002$	$1,507 \pm 0,002$	0,010
. VII. 1943	Xylol + Tetralin	—	1,507	—
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,494	1,504	0,010
. VII. 1943	Dekalin + Monochlorbenzol	1,490	1,501	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,496	—	—
. VII. 1943	Dekalin + Monobrombenzol	1,491	1,500	0,009
. VII. 1943	Petroleum II + Monobrombenzol	1,492	1,501	0,009
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,496	1,506	0,010
. VII. 1943	Petroleum II + α -Monobromnaphthalin	1,488	1,499	0,011
. VII. 1943	Dekalin + α -Monobromnaphthalin	1,488	1,498	0,010
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,493	1,504	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + α -Monobromnaphthalin	1,484	1,494	0,010
. VII. 1943	Dekalin + α -Monobromnaphthalin	1,486	1,496	0,010
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,479	1,490	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + Monochlorbenzol	1,475	1,486	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,485	1,496	0,011
. VII. 1943	Toluol + Tetralin	—	1,495	—
. VII. 1943	Toluol + Dekalin	1,484	—	—
. VII. 1943	Toluol + Petroleum II	1,485	—	—
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,498	1,508	0,010
. VII. 1943	Benzol + Tetralin	—	1,508	—
. VII. 1943	Benzol + Dekalin	1,498	—	—
. VII. 1943	Tetrachlorkohlenstoff + Tetralin	1,495	1,506	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	—	1,497	—
. VII. 1943	Benzol + Dekalin	—	1,496	—
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,493	1,503	0,010
. VII. 1943	Benzol + Tetralin	—	1,502	—
. VII. 1943	Benzol + Dekalin	1,493	—	—
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,490	1,501	0,011
. VII. 1943	Tetralin + Dekalin	1,489	1,499	0,010
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,488	1,499	0,011
. VII. 1943	Tetralin + Dekalin	1,486	1,497	0,011
. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	—	1,497	—
. VII. 1943	Paraffinöl I + Petroleum I	1,464	1,474	0,010
. VII. 1943	Paraffinöl II + Petroleum I	1,468	1,477	0,009
. IX. 1943	Petroleum I + Tetralin	1,499	1,508	0,009
. IX. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,499	1,508	0,009

logischen Daten, eine strenge Vergleichung der Lichtbrechung des unter Zimmerverhältnissen befindlichen Tonmaterials mit der Witte-

rung nicht möglich war, stellte sich die sehr wesentliche Abhängigkeit der Lichtbrechung von den Veränderungen der Luftfeuchtigkeit und von der Temperatur dennoch klar heraus. Die dargestellten Daten gibt die Tabelle 7 auch numerisch an.

Um die in den verschiedenen Zeiten der aufeinander folgenden Tage und in verschiedenen Flüssigkeitsgemischen gemessenen Werte miteinander vergleichbar zu machen, war die Gewährleistung einer gemeinsamen Basis notwendig. Darum habe ich mit jeder Bestimmung gleichzeitig eine andere im Petroleum-Tetralingemisch durchgeführt, welche die Umrechnung auf die gemeinsame Grundlage ermöglichte. Die ursprünglichen Meßwerte gibt, wie erwähnt, die Tabelle 6, die der umgerechneten aber die Tabelle 8 an.

Tabelle 7.

Zeit der Messung 1943		Niederschlag mm			Relative Luftfeuchtigkeit			Tempe- ratur	Brechungsindex	
Tag	Stunde	7 ^h	14 ^h	21 ^h	7 ^h	14 ^h	21 ^h	t° C	α	γ
3. VII.	14	—	—	—	75	43	58	21	1,494	1,504
4. VII.	12 ^{1/2}	—	—	—	60	39	60	22 1/2	1,496	—
5. VII.	12	—	—	—	54*	30	66	22 1/2	1,496	1,506
6. VII.	11	—	0,2	1,6	65	57	100	23	1,493	1,504
7. VII.	12	16,8	23,0	0,1	100	95	90	20 1/2	1,479	1,490
8. VII.	13 ^{1/2}	—	6,2	6,9	92	98	98	21	1,485	1,496
9. VII.	—	9,5	0,2	—	81	55	75	—	—	—
10. VII.	12 ^{1/2}	—	—	—	64	43	60	23	1,498	1,508
11. VII.	—	—	0,1	0,1	73	72	73	—	—	—
12. VII.	10 ^{1/2}	—	—	—	—	—	—	20 1/2	—	1,497
	15	4,2	1,1	—	100	56	76	20 1/2	1,493	1,503

Obzwar die Flüssigkeiten, in welchen ich diese ausführliche Brechungsindizesmessungen durchführte, sämtlich als ziemlich entsprechende gelten können, stellte ich dennoch wesentliche Abweichungen der gefundenen Brechungsindizes fest. Diese Flüssigkeiten sind im allgemeinen (mit Ausnahme einiger) völlig apolar, die Löslichkeitsverhältnisse günstig (praktische Unlöslichkeit!), die statischen Grenzflächenspannungen des Flüssigkeitspaares Wasser-Einbettungsflüssigkeit hoch, die dielektrische Konstante aber klein. Die höchsten Indizes habe ich in Petroleum-Tetralingemischen gemessen. Praktisch gleiche, oder vielleicht auch um sehr wenig kleinere Werte wurden in den Kombinationen Xylol-Tetralin, Toluol-Tetralin, Toluol-Petroleum, Toluol-Dekalin, Benzol-Tetralin, Benzol-Dekalin, Dekalin-Tetralin gemessen. Gut wahrnehmbar kleiner war der in dem Tetrachlorkohlenstoff-Tetralingemisch gefundene Wert. Noch etwas kleinere Werte ergaben

Tabelle 8.

Tag der Messung	Einbettungsflüssigkeit	α	γ	$\gamma - \alpha$
1. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	$1,497 \pm 0,002$	$1,507 \pm 0,002$	0,010
2. IX. 1943	Petroleum I + Tetralin	1,498	1,507	0,009
3. IX. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,498	1,507	0,009
4. VII. 1943	Petroleum II + Tetralin	1,496	1,507	0,011
5. VII. 1943	Xylol + Tetralin	—	1,507	—
6. VII. 1943	Benzol + Tetralin	—	1,507	—
7. VII. 1943	Benzol + Dekalin	1,497	—	—
8. VII. 1943	Benzol + Dekalin	—	1,506	—
9. VII. 1943	Benzol + Tetralin	—	1,506	—
10. VII. 1943	Toluol + Petroleum II	1,497	—	—
11. VII. 1943	Toluol + Tetralin	—	1,506	—
12. VII. 1943	Toluol + Dekalin	1,496	—	—
13. VII. 1943	Toluol + Tetralin	—	1,506	—
14. VII. 1943	Dekalin + Tetralin	1,496	1,506	0,010
15. VII. 1943	Dekalin + Tetralin	1,495	1,506	0,011
16. VII. 1943	Tetrachlorkohlenstoff + Tetralin	1,494	1,505	0,011
17. VII. 1943	Dekalin + Monochlorbenzol	1,493	1,504	0,011
18. VII. 1943	Petroleum II + Monochlorbenzol	1,493	1,504	0,011
19. VII. 1943	Petroleum II + Monobrombenzol	1,493	1,502	0,009
20. VII. 1943	Dekalin + Monobrombenzol	1,492	1,501	0,009
21. VII. 1943	Dekalin + α -Monobromnaphthalin	1,490	1,500	0,010
22. VII. 1943	Dekalin + α -Monobromnaphthalin	1,489	1,499	0,010
23. VII. 1943	Petroleum II + α -Monobromnaphthalin	1,489	1,500	0,011
24. VII. 1943	Petroleum II + α -Monobromnaphthalin	1,488	1,498	0,010
25. VII. 1943	Paraffinöl II + Petroleum I	1,478	1,487	0,009
26. VII. 1943	Paraffinöl I + Petroleum I	1,474	1,484	0,010

sich in den Kombinationen von Dekalin-Monochlorbenzol, Petroleum-Monochlorbenzol, Dekalin-Monobrombenzol, Petroleum-Monobrombenzol. Noch kleiner als die vorigen waren die Indizeswerte, die ich in Dekalin- α -Monobromnaphthalin- und Petroleum- α -Monobromnaphthalingemischen messen konnte. Die kleinsten Werte wurden aber in Gemischen von Paraffinöl-Petroleum erhalten.

Als die entsprechendsten kann man jene Flüssigkeiten betrachten, in welchen die kleinsten Indizeswerte gefunden wurden, da in diesen die geringste Wechselwirkung, hauptsächlich durch Stoffeintritt oder Wasseraustritt (oder durch beide Ursachen) erfolgen konnte. Beide Ursachen führen erwartungsgemäß die Steigerung der Brechungsindizes herbei. Wenn man die erhaltenen Meßwerte mit den Daten der Tabelle 5 vergleicht, dann stellt sich wiederum heraus, daß die Lös-

lichkeitsverhältnisse tatsächlich bedeutenden Einfluß haben müssen: Wenn das zur Messung verwendete Flüssigkeitsgemisch Wasser nur außerordentlich schlecht lösende und im Wasser ebenso kaum lösliche Verbindungen enthält, (praktische Unlöslichkeit!) dann findet man die kleinsten Indizes. Besonders klar zeigt sich das, wenn man die größeren Löslichkeiten des Benzols und seiner Homologen mit jener der Paraffinöl-Petroleumgemische und die entsprechenden Brechungsindizes vergleicht.

Ich möchte noch bemerken, daß auch in Benzin-Paraffinölgemischen approximative Bestimmungen durchgeführt wurden und sich auch in diesen Gemischen eine den in Paraffinöl-Petroleumgemischen gemessenen ähnliche, niedrige Lichtbrechung zeigte.

Auch aus meinen Messungen stellt sich heraus, daß bei der Bestimmung der Lichtbrechung wahrscheinlich nicht das Dipolmoment die entscheidendste Eigenschaft der Flüssigkeit ist, da die mittels α -Monobromnaphthalin erhaltenen Indizeswerte sehr niedrig sind.

Auf Grund der mitgeteilten Messungsergebnisse kann man das Paraffinöl und Petroleum als die geeignetsten Einbettungsflüssigkeiten bezeichnen. Benzin ist wegen der raschen und ungleichen Verdampfung einiger Bestandteile und dadurch bedingte Veränderung seines Brechungsindex nicht empfehlenswert.

Ich habe auch gesondert die Lichtbrechungsveränderung des Montmorillonits in verschiedenen Flüssigkeiten bei längerwährender Einbettung untersucht. Theoretisch kann in allen Flüssigkeiten wegen einer kleineren oder größeren Wechselwirkung zwischen der Flüssigkeit und dem Tonmineral eine Abweichung in der Lichtbrechung eintreten (da es z. B. ganz wasserunlösliche bzw. Wasser überhaupt nicht lösende Flüssigkeiten nicht gibt usw.). Praktisch findet man aber unter den Flüssigkeiten doch solche, in welchen diese Wirkung auch nach längerer Zeit keinen größeren Wert erreicht. Auch diese Eigenschaft muß bei der Wahl der Einbettungsflüssigkeit berücksichtigt werden.

Die Änderung der Lichtbrechung des Tonmaterials kann eine wirkliche oder eine scheinbare sein. Die erste kann man mit der Wechselwirkung zwischen der Flüssigkeit und dem Tonmineral, die letztere aber mit der infolge ungleicher Verdampfung der Gemischglieder eingetretenen Veränderung der Lichtbrechung der Einbettungsflüssigkeit in Beziehung bringen¹⁾. Uns interessiert in erster Reihe die wirkliche Änderung der Indizes. Infolge der scheinbaren Änderung ist es geraten, immer nur unter dem mittleren Teile des Deckglases zu

¹⁾ Sehr geringe (den Wert von 0,001 jedoch kaum überschreitende Veränderungen der Indizes kann natürlich auch der Wechsel der Zimmertemperatur herbeiführen.

messen, wo die Abdeckung des Präparates die beste ist und somit im Falle von verschiedenen Siedepunkten der Gemischglieder die Lichtbrechung der Einbettungsflüssigkeit am langsamsten verändert wird.

In Verbindung mit der wirklichen Indizesveränderung konnte ich die vielleicht besten Resultate in den Petroleum-Paraffinöl- und Petroleum-Tetralingemischen beobachten. In diesen Flüssigkeitsgemischen zeigt das Tonmaterial vom ersten Augenblicke der Einbettung angefangen durch eine sehr lange Zeit unveränderte Lichtbrechung. Da ferner die Verdampfung der Gemischkomponenten infolge ihrer verhältnismäßig hohen Siedepunkte nur langsam erfolgt, bleibt die Proportionsänderung der Gemischglieder sozusagen unmerklich.

Ich habe zuerst in reinem Paraffinöl diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt. Zweierlei Paraffinöle wurden verwendet. Eines war vollständig wasserklar, sein Brechungsindex $n_{Na} = 1,4743$ bei 23^0 C (= Paraffinöl I), das andere mit dem Brechungsindex $n_{Na} = 1,4801$ bei 23^0 C kaum gelblich und fluoreszierend (= Paraffinöl II). Den größten Index des Montmorillonits habe ich im wasserklaren Paraffinöl als sehr nahestehend zu seinem Index $1,474$ gefunden. Während der 72 Stunden langen Beobachtung ($5\frac{1}{4}$ Stunden, 24 Stunden und 72 Stunden nach dem Beginn der Einbettung) war eine Veränderung des größten Index noch nicht zu beobachten. Die mögliche Veränderung der Lichtbrechung des Montmorillonits kann also nach 72 Stunden langer Einbettung im wasserklaren Paraffinöl nicht größer als die Fehlergrenze von $0,002$ sein. Auch in den Gemischen dieses Paraffinöls und eines wasserklaren Petroleums mit dem Brechungsindex $n_{Na} = 1,4487$ bei 23^0 C (= Petroleum I) war die mögliche Veränderung der Indizes des Montmorillonits nach einer Einbettung von 72 Stunden praktisch gleich Null. In dem schwach gelblichen und fluoreszierenden anderen Paraffinöl hätte sich die mögliche Erhöhung des Mineralindex um $0,004$ noch beobachten lassen, während dieser Zuwachswert auch nach 72 Stunden nicht erreicht wurde. In Mischungen dieses Paraffinöls mit dem wasserklaren Petroleum konnte ich aber schon eine sehr geringfügige, allerdings praktisch kaum nennenswerte Erhöhung der Brechungsindizes bei längerwährender Einbettung feststellen. Bei dem größten Index machte diese Veränderung in $3\frac{1}{4}$ Stunden höchstens $0,001$, in $5\frac{1}{4}$ Stunde höchstens $0,002$ und in 22 Stunden endlich höchstens $0,003$ aus und blieb dann nach 72 Stunden dauernder Einbettung unverändert. Die Zunahme des kleinsten Index erreichte nach einer Einbettung von 21 Stunden schätzungsweise höchstens $0,002$ und blieb auch nach 72 Stunden unverändert. Vermutlich war das schwach gelblich gefärbte Paraffinöl etwas verunreinigt, aber trotzdem praktisch noch ganz entsprechend.

In Petroleum- (I und II, letzteres mit $n_{Na} = 1,4576$ bei $21^{\circ}C$ und etwas fluoreszierend)-Tetralingemischen, konnte man nach stundenlanger Einbettung beobachten, daß die Brechungsindizes des Montmorillonits vielleicht etwas sanken. Die Verminderung nach $1\frac{1}{2}$ Stunden langer Einbettung konnte höchstens nur 0,001, nach 3 Stunden aber 0,002 erreichen. Ob diese Veränderung eine wirkliche oder eine scheinbare ist, war nicht zu unterscheiden. Wahrscheinlicher ist aber, daß es sich nur um eine scheinbare handelt, die auf der Veränderung der Lichtbrechung der Einbettungsflüssigkeit beruht und durch schnellere Verdampfung der niedriger siedenden Bestandteile des Petroleums zustandekam.

Im allgemeinen habe ich mit den Petroleum enthaltenden Einbettungsflüssigkeiten in dieser Hinsicht gute Erfahrungen gemacht. Praktisch waren solche Gemische gleich vom Beginn der Einbettung brauchbar zur Messung. So z. B. konnte in Toluol-Petroleumgemischen 50 Minuten nach dem Einbettungsbeginne, als am Rande des Präparats schon eine ernste Eintrocknung zu verzeichnen war, von einer größeren Änderung als 0,001 im mittleren, gut abgedeckten Teile desselben noch nicht die Rede sein. In Petroleum-Monobrombenzoldmischung wurde eine Erhöhung der Lichtbrechung von 0,001 in $2\frac{1}{4}$ noch nicht, sondern erst in $3\frac{1}{4}$ Stunden erreicht. In Petroleum-Monochlorbenzol stieg die Zunahme in einer Stunde noch nicht bis 0,001 und der größte Index des Minerals, welcher beim Beginne der Einbettung um 0,004 kleiner als der Index der Flüssigkeit war, blieb auch nach $1\frac{3}{4}$ Stunden unter dem letzteren. Monobrombenzol wie auch Monochlorbenzol verdampft rascher als Petroleum, somit sinkt aber der Brechungsindex der Einbettungsflüssigkeit und jener des Minerals muß scheinbar steigen. Die Anwesenheit des Petroleums verlangsamt aber die Verdampfung der Benzolderivate. In Petroleum-Monobromnaphthalinmischungen bleibt die eventuelle Veränderung $1\frac{1}{4}$ Stunden lang unter 0,001.

Unter den Dekalingemischen zeigen die Tetralinhaltigen zu Beginn der Einbettung ein etwas unklares Verhalten. Auf Grund zahlreicher Versuche und Beobachtungen konnte ich feststellen, daß im Moment der Einbettung die Lichtbrechung um etwa 0,006—0,007 kleiner als diejenige ist, welches sich nach einigen Minuten ermittelt und dann praktisch unverändert bleibt. Im Dekalin-Tetralingemische ist anfangs ein rasch abnehmendes Wachsen der Lichtbrechung zu beobachten, aber nach 15 Minuten stellt sich bereits praktisch die Gleichgewichtslage ein. (Schon 10 Minuten nach Beginn der Einbettung sind die beobachteten Werte schätzungsweise bis auf 0,001 richtig.) Von diesem Punkt an kann man durch ziemlich lange Zeit praktisch keine wesentliche Änderung der Lichtbrechung des Minerals beob-

achten, die sich später einstellende Änderung aber ist in erster Reihe nur mit der ungleichen Verdampfung der Mischungsglieder in Verbindung zu bringen. Nach $1\frac{1}{4}$ Stunden vom Einbettungsbeginn konnte ich nämlich eine Abnahme des Index von etwa 0,001—0,002 und nach 2 Stunden eine solche von ungefähr 0,002—0,003 feststellen. Nach 4 Stunden aber zeigte sich bereits starke Eintrocknung des Präparats. Die Abnahme der Brechungsindizes ist hier im Wesen hauptsächlich nur eine scheinbare, da infolge der stärkeren Verdampfung des Dekalins die Lichtbrechung der Einbettungsflüssigkeit steigt. Innerhalb der vom Einbettungsbeginn gerechneten ersten 15 Minuten bis zu einer Stunde war in der Lichtbrechung des Minerals keine praktisch merkliche scheinbare Veränderung eingetreten.

Die anderen dekalinischen Mischungen verhielten sich aus dem skizzierten Gesichtspunkte gut. In Dekalin-Monochlorbenzolzolmischung zeigte sich innerhalb einer Stunde keine wesentliche Änderung. Nach einer Einbettung von $2\frac{1}{2}$ Stunden war die Flüssigkeit aber schon in mehrere Inseln zerrissen und eine Indexerhöhung von etwa 0,003 feststellbar, offensichtlich in erster Reihe infolge der durch raschere Verdampfung des Monochlorbenzols entstandenen Indexabnahme der Einbettungsflüssigkeit. Die Indexänderung des Minerals kann man also hauptsächlich nur als eine scheinbare ansprechen. In Dekalin-Monobrombenzolzolmischungen konnte ich nach 1 Stunde vom Beginne der Einbettung am Rande des Präparates schon eine starke Eintrocknung beobachten, an gut gedeckten mittleren Teilen des Präparates war aber eine offensichtlich nur scheinbare Erhöhung des Mineralbrechungsindex um 0,001 schätzbar. Auch hier dürfte die raschere Verdampfung der einen Komponente, des Monobrombenzols, die Ursache der scheinbaren Erhöhung der Lichtbrechung des Minerals sein. In einer Mischung von Dekalin und α -Monobromnaphthalin zeigte sich nach $1\frac{1}{2}$ Stunden von Einbettungsbeginn eine scheinbare Verminderung des Mineralindex um etwa 0,001 und auch nach 2 Stunden war noch keine wesentliche Änderung feststellbar.

In Toluol war nach 15 Minuten vom Anfang der Einbettung noch keine Veränderung der Lichtbrechung des Montmorillonits zu bemerken. In Xylol zeigte sich aber 50 Minuten nach dem Anfang schon die allerdings kaum nennenswerte Erhöhung derselben um 0,001. Da bei der angegebenen Zeit das Xylol schon teilweise verdampfte, gab ich vom neuen Xylol zum Präparate, und konnte dann nach $1\frac{1}{4}$ Stunden eine Erhöhung um 0,002 gegenüber der zu Anfang der Einbettung gemessenen Indizes feststellen. Hier erfolgt offensichtlich eine geringe wahre Erhöhung der Lichtbrechung infolge der längerwährenden Einbettung, ähnlich der von mir im Falle des Benzols schon früher beobachteten.

In Xylol-Tetralinmischung erschien nach 25 Minuten vom Einbettungsanfang eine Verminderung um etwa 0,001—0,002, nach 50 Minuten war aber ein Teil des Präparates schon eingetrocknet und ich konnte in einer Flüssigkeitsinsel eine Verminderung der Lichtbrechung des Montmorillonits um etwa 0,004 feststellen. Diese Verminderungen der Indizes dürften im Wesen hauptsächlich auf die infolge der raschen Verdampfung des Xylols anwachsenden Flüssigkeitsindizes zurückzuführen sein.

In Tetrachlorkohlenstoff-Tetralingemischen stellt sich das Gleichgewicht in etwa 1—2 Minuten ein. Eine Stunde nach Einbettungsanfang erschienen unter der Mitte des Deckglases schon Glasblasen, eine merkliche Abweichung der Lichtbrechung des Minerals zeigte sich aber noch nicht, obgleich am Rande des Präparates schon $\frac{3}{4}$ Stunden nach Beginn eine scheinbare Verminderung der Indizes um mindestens 0,010 zu beobachten war. Im Falle von Tetrachlorkohlenstoff ist rasche Arbeit erforderlich.

Auch in der Mischung Tetrachlorkohlenstoff-Tetralin sieht man gut, daß man im Falle längerwährender Arbeit in Gemischen mit sehr abweichenden Siedepunkten der Mischungsglieder immer nur unter der Mitte des Deckglases arbeiten soll, da hier die Indexbestimmungen praktisch noch einwandfrei durchführbar bleiben, während am Rande des Deckglases schon ernste Störungen der Zusammensetzung der Einbettungsflüssigkeit und so auch der Lichtbrechung auftreten.

Die besprochenen Beobachtungen scheinen die im ersten Teile dieser Arbeit mitgeteilten Ergebnisse und Überlegungen in jeder Hinsicht zu bestätigen.

Da das erforderliche Meßintervall 1,46—1,67 beträgt, müssen wir, wie bereits erwähnt, auch die Einbettungsflüssigkeiten dementsprechend wählen. Wie wir sahen, wurden die kleinsten Indizes in Paraffinöl, in Petroleum und Benzin gefunden. Diese Flüssigkeiten kann man je nach Bedarf bei der unteren Grenze in den Mischungen brauchen, das Paraffinöl sogar, wie im Falle des Montmorillonits von Tétény schon gezeigt wurde, manchmal auch für die obere Grenze des notwendigen Meßintervalls. Erwartungsgemäß können aber auch unter den Montmorilloniten solche vorkommen, für welche das Paraffinöl nicht mehr als obere Grenze der Flüssigkeitsgemische taugt, da die Lichtbrechung des Minerals größer als die des Paraffinöls ist. Wie im ersten Teile dieser Arbeit schon erwähnt wurde, ist eine für die obere Grenze des erwünschten Lichtbrechungsintervalls theoretisch in jeder Hinsicht entsprechende Flüssigkeit zumindest derzeit noch nicht bekannt, darum muß man bei der Wahl einer solchen mit einem Kompromisse fürliebnehmen. Wie gesagt, wurden auch bei der Verwendung von α -Monobromnaphthalin äußerst kleine Indizes erhalten, darum

kann es als noch am meisten geeignet gelten, obwohl wegen seinem Dipolmoment möglicherweise ein gewisser störender Einfluß denkbar ist. Als allgemein brauchbare Flüssigkeit mit dem beiläufigen Index der oberen Grenze des notwendigen Meßintervalls kann auf Grund meiner Untersuchungen für jedes Tonmineral vom Montmorillonit-Nontronittyp also das α -Monobromnaphthalin mit dem Index $n_{Na} = 1,659$ bei 20°C dienen, oder vielleicht in vielen Fällen noch das mir leider derzeit nicht zur Verfügung stehende α -Monochlornaphthalin, welches wahrscheinlich im Verhalten dem α -Monobromnaphthalin ähnlich ist.

Statt Paraffinöl und technischem Petroleum beabsichtigte ich ein Homolog der $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ Paraffinreihe mit größerem Siedepunkte (etwa Tridekan, Tetradekan) zu verwenden. Derzeit ist mir aber die Beschaffung dieser Einbettungsflüssigkeit unmöglich.

Wie bereits erwähnt wurde, zeigten die in den zweierlei Paraffinölen gemessenen Mineralindexwerte eine Differenz von 0,003. Diese Abweichung kann man einer Abweichung der Zusammensetzung dieser Öle zuschreiben.

Da die in den Paraffinöl-Petroleumgemischen gemessenen Werte viel kleiner als die in den übrigen apolaren oder nahezu apolaren zyklischen Kohlenwasserstoffen gemessen waren, vermutete ich anfangs, daß die ersteren das Tonmineral vielleicht infolge ihrer großen Viskosität schlecht und langsam benetzen. Wie wir aber sahen, brachte auch eine sehr lang andauernde Einbettung keine Veränderung, darum mußte ich die Annahme der schlechten und langsamen Benetzung verwerfen. Daß der untersuchte Montmorillonit unter anderen Umständen auch eine größere Lichtbrechung, als die verwendeten Paraffinöle haben kann, konnte ich feststellen, als ich Mineralproben die vor der Einbettung 20 Minuten lang im Trockenschrank auf $50\text{--}55^{\circ}\text{C}$ erwärmt wurden, in beiden Paraffinöle eingebettet untersuchte. Die Indizes der Proben erwiesen sich nämlich so weit größer als die der Öle. Die erhaltenen niedrigen Werte des vorher nicht erwärmten Montmorillonits müssen also richtig und seinem zimmertrockenen Zustande entsprechend sein.

Um also die Brechungsindizes der Tonminerale vom Montmorillonit-Nontronittyp verschiedener Zustände und Abstammung vergleichen und die diesbezüglich derzeit unleugbar bestehenden Verwirrung beseitigen zu können, ist die Einführung und die Befolgung einer Standardmethode in der Bestimmung der Lichtbrechung erforderlich. Bei dem richtigen Ausbau einer solchen muß man auch möglichst berücksichtigen, daß die derzeit als die besten anzusprechenden Einbettungsflüssigkeiten: Petroleum und Paraffinöl sehr schwach brechend sind, es wäre also zweckdienlich, bei Montmorillonitproben solche Um-

stände herbeizuführen, welche die alleinige Verwendung von Petroleum und Paraffinöl erlauben. Bei den Montmorilloniten ist dies voraussichtlich möglich, da diese schon im natürlichen Zustande niedrige Indizes haben, nicht aber bei allen Beidelliten und überhaupt nicht bei Nontroniten. Diese letzteren haben schon in natürlichem Zustande so hohe Lichtbrechung, daß die Senkung auf die erforderlichen niedrigen Werte, wenn sie auch gelingen würde, sehr unnatürlich erscheinen müßte und deshalb zu verwerfen ist. In diesem Falle verwenden wir neben dem Petroleum oder Paraffinöl das α -Monobromnaphthalin (oder eventuell α -Monochlornaphthalin).

Die gemeinsame Vergleichsbasis ist am besten zu gewährleisten, wenn man das Mineral vorher über einem Schwefelsäure-Wassergemisch von bekannter Zusammensetzung und Temperatur mindestens 48 Stunden lang trocknet, wie dieses Verfahren M. Mehmel¹⁾ in seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Lichtbrechung vom Wassergehalt verschiedener Tonminerale statt einer Temperaturskala verwendete. Nach Mehmel ist die angegebene Zeit von 48 Stunden hinreichend, da sich nach seinen Erfahrungen das Gleichgewicht schon nach den 35—40 Stunden einstellt. Die Trocknung (in den meisten Fällen aber eher eine geringfügige Befeuchtung) führen wir vielleicht über einer Schwefelsäure-Wassermischung mit einem solchen Wasserdampfdruck durch, der dem Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei 10° C oder vielleicht 15° C entspricht, somit ist es voraussichtlich erreichbar, daß Montmorillonite und vielleicht auch einzelne Beidellite noch in Petroleum-Paraffinölgemischen untersucht werden können. Die Tonminerale mit größerer Lichtbrechung untersuchen wir aber in Petroleum oder Paraffinöl und α -Monobromnaphthalingemischen. Im Trocknungsraum legen wir auf Objektträger die Proben (zweckmäßig mit Messer abgeschabtes Pulver des Minerals) und daneben das Deckglas; nach 48 Stunden folgt dann die rasche Einbettung. Die Messungen können wir nach 2 Minuten vom Einbettungsanfang an schon beginnen.

Die skizzierte Vorbehandlung der Tonminerale gewährleistet sozusagen den natürlichen Zustand derselben und andererseits aber auch die Vergleichbarkeit der in verschiedenen Instituten erhaltenen Indizeswerte.

In den Proben bestimmt man innerhalb einer Stunde mit Hilfe der Beckeschen Linie immer die kleinste und die größte Lichtbrechung unter den verschieden orientierten Körnern und diese werden angegeben. Der kleinste Wert kann angenähert dem α , der größte aber dem γ entsprechen.

Weitere Untersuchungen bezüglich des Arbeitsganges der empfohlenen Standardmethode beabsichtige ich auszuführen.

¹⁾ M. Mehmel l. c., S. 2.

Einige der von Correns und Mehmel¹⁾ ferner von van Baren²⁾ verwendeten oder geprüften Einbettungsflüssigkeiten habe auch ich noch auf ihr qualitatives Verhalten untersucht. In Glyzerin, Paraldehyd, Benzyldehyd war der Montmorillonit, wenigstens anfänglich, viel stärker lichtbrechend als die Flüssigkeit in Anisöl, Zimtöl, Nelkenöl und Anilin, aber schwächer. Diese Untersuchungen brachten bisher nur wenig unbekannte Daten. Im Falle des Anilins stellte sich eine auch die Doppelbrechung äußerst stark beeinflussende Wirkung heraus. Schon im ersten Augenblick erschien nur eine äußerst schwache, höchstens nur 0,002 erreichende Doppelbrechung statt des Wertes um 0,010, der sich im allgemeinen in den für gut anzuspreekenden Flüssigkeiten zeigte. Nach einer Einbettung von nahezu einem Tage erschien der Montmorillonit praktisch schon als isotrop: mit der Gipsplatte zwischen gekreuzten Nicols konnte man eine nur kaum merkliche Veränderung der Interferenzfarbe der Gipsplatte beobachten.

Interessant war allerdings das Verhalten des Montmorillonits auch in Nelkenöl ($n_{Na} = 1,5435$ bei $23^{\circ}C$). Anfangs war in diesem die Lichtbrechung des Montmorillonits kleiner als jene des Öles, nahm aber allmählich zu und erreichte sie nach 20 Minuten schon fast. Nach einem Tage vom Einbettungsanfang gerechnet erschien das Mineral schon in allen Richtungen stärker lichtbrechend als das Öl. Der Montmorillonit nahm aus dem gelblich gefärbten Nelkenöl auch das dunkel gefärbte Oxydationsprodukt des Eugenols auf und färbte sich dadurch honiggelb oder gelblichbraun. Möglicherweise beschleunigte der Montmorillonit die Oxydation des Eugenols durch Oberflächenkatalyse. Der Montmorillonit zeigte übrigens auch im gelben Zimtöl hinsichtlich der Färbung ein ganz ähnliches Verhalten, was die besagte katalytische Wirkung noch wahrscheinlicher macht. Auch die indexsteigernde Wirkung des Anisöls war nach längerer Einbettung zu beobachten.

Sopron, Oktober 1943, Institut für Geologie und Lagerstättenlehre der kgl. ung. Palatin-Joseph-Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften.

Die Arbeit wurde der III. Klasse der Ungarischen Akademie der Wissenschaften vorgelegt.

Nachtrag während der Korrektur!

Während der Korrektur bekam ich das im laufenden Jahre Oktober erschienenen Heft der Kolloid-Zeitschrift, welche die sehr interessante Arbeit: „Über die Thixotropie des Montmorillonits“ von H. G. F. Winkler brachte. Aus dieser interessiert uns be-

¹⁾ C. W. Correns und M. Mehmel l. c., S. 339—341.

²⁾ F. A. van Baren l. c., S. 465.

sonders der Nachweis des abweichenden thixotropischen Verhaltens des Montmorillonits gegenüber den bis dahin untersuchten Mineralpulvern und die Erklärung dieser Abweichung durch die Rolle des Quellungswassers. Winkler spricht auch über die Austauscharbeit dieses Wassers mit solchen Flüssigkeiten, die mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar sind und in Verbindung hiermit weist er noch auf die Veränderung der Thixotropie des Montmorillonits hin. Er nimmt Bezug auf den Äther-Montmorillonit von Wo. Ostwald und W. Haller (Über Lyosorption. Koll. Beih. **29**, 352—395 1929) und verfertigt und untersucht selbst einen Methanol-Montmorillonit.

Da Löslichkeitsdaten über α -Monobromnaphthalin, Tetralin und Dekalin fehlten, war Prof. J. Proszt auf meine Bitte so liebenswürdig diesbezügliche Untersuchungen durchzuführen. Durch Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten wurde bestätigt, daß die Löslichkeit des Wassers in Tetralin und Dekalin etwas kleiner als in Benzol ist. Eine Löslichkeit von Wasser in α -Monobromnaphthalin hingegen konnte selbst auf diesem empfindlichen Wege nicht nachgewiesen werden.

Über Troilit

Von

R. Vogel.

Mit 6 Abbildungen im Text und Tafel V—VII.

Das Schwefeleisen von der Formel FeS , der Troilit, gehört wie der Schreibersit $(\text{FeNi})_3\text{P}$ und der Cohenit $(\text{FeNi})_3\text{C}$ zu den unregelmäßig und nur sporadisch auftretenden Gefügebestandteilen des meteorischen Eisens. Über die Bildungsbedingungen und über den genetischen Zusammenhang des Troilits mit dem regelmäßigen Gefüge kann man sich, nachdem die dafür notwendigen binären und ternären Zustandsdiagramme bekannt sind, eingehender begründete Vorstellungen machen. Was auf dieser Grundlage heute über den Troilit als Gefügebestandteil des meteorischen Eisens ausgesagt werden kann, soll im folgenden dargelegt werden.

Die Erscheinungsformen des Troilit.

1. Knollen von wenigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern Durchmesser, deren häufig nahezu ideale Kugelform auffällt. Taf. V Abb 1 zeigt ein Beispiel aus dem Eisen von Zacatecas. Die Umgebung besteht aus Kamazit, der helle Bestandteil am Troilitrande aus Schreibersit. Die Kugelform der Troilitknollen läßt an Tropfen denken. Besonders erwecken diesen Eindruck Gebilde, wie die in Abb. 1a, b, c und d wiedergegebenen. Die Tropfen a und b scheinen im Stadium der Ausstoßung eines Nickeisentropfens erstarrt zu sein. Die Beispiele a und b entstammen den Eisen von Bella Roca bzw. Cuernavaca¹⁾, c und d wurden vom Verfasser in dem Eisen von N'Goureyra beobachtet.

2. Zylindrische oder schwachkegelförmige Massen von ähnlicher Dicke wie die Knollen und bis zu 18 cm Länge (Duel Hill)²⁾. Derartige Troilite scheinen ehemals die entsprechend geformten, röhrenartigen Hohlräume, welche man in manchen Meteoreisen findet, ausgefüllt zu haben. Reichenbach hat diese gestreckten Troilitformen mit denen

¹⁾ A. Brezina und E. Cohen, Die Struktur und Zusammensetzung des Meteoreisens. Stuttgart 1886.

²⁾ E. Cohen, Meteoritenkunde. Stuttgart 1894. Heft 1/194.

von Belemniten verglichen und gefunden, daß sie öfters scharenweise und parallel gerichtet auftreten¹⁾.

3. Reichenbachsche Lamellen. Taf. V Abb. 2 zeigt Beispiele derselben in dem Oktaedriten von Jewell Hill. Sie sind gewöhnlich höchstens 1 mm dick und 1—2 cm lang und im Gegensatz zu den den Oktaederflächen parallelen Kamazitlamellen den Würfelflächen parallel orientiert²⁾. Daraus hat schon Cohen geschlossen, daß sich die Reichenbachschen Lamellen vor den Widmanstätten-

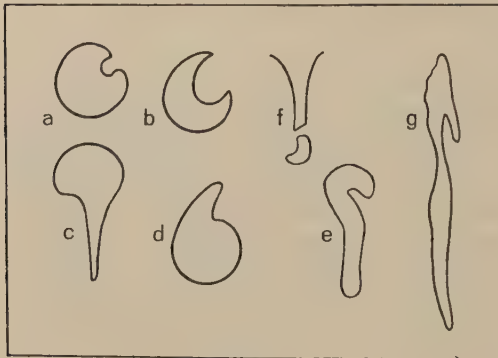


Abb. 1. Verschiedene Troilitformen.

schen Figuren gebildet haben, was für die Entstehung der Widmanstättenschen Struktur durch Umwandlung im festen Zustande spricht. Andererseits finden sich sechseckig begrenzte Troilite in dem Eisen von Carlton, sowie in dem kürzlich von S. H. Perry beschriebenen Eisen von Seneca Township³⁾, wo die Form

offenbar durch die Lamellen der W-Figuren bestimmt ist, der Troilit also später entstanden sein müßte. Dies würde der früher vom Verfasser vertretenen Auffassung entsprechen, nach welcher die W-Struktur bei der Kristallisation der Schmelze entstanden ist⁴⁾.

4. Unregelmäßige Formen. Hierfür sind e, f, g Abb. 1 und Taf. V Abb. 4 und 5 Beispiele. Die Formen e, f, g, fand der Verfasser im Gourey-maeisen, ebenso die in Taf. V Abb. 4 und 5 wiedergegebenen Formen.

5. Sehr häufig ist der Troilit, speziell der knollenförmige, von Schreibersit (vgl. Taf. V Abb. 1), Cohenit oder Graphit¹⁾ sowie von Daubreelith ($\text{FeS} \cdot \text{Cr}_2\text{S}_3$) begleitet und öfters umhüllt. Dieser Um-

¹⁾ Anschauungsmaterial von zylinderförmigem Troilit, sowie von Verwachsungen des Troilit mit Cohenit und Graphit, das besonders zum Vergleich mit den künstlich erzeugten Verwachsungsgefügen (Tafel VII, Abb. 12 u. 13) erwünscht gewesen wäre, hat sich der Verfasser wegen der durch den Krieg bedingten Ungänglichkeit der Sammlungen leider nicht verschaffen können.

²⁾ E. Cohen, Meteoritenkunde, Heft 1/189, ebenda S. 190.

³⁾ The Seneca Township, Meteorite, Popular Astronomy Vol. XLVII, 14 (1939).

⁴⁾ Eine umfassendere Deutung der Gefügeerscheinungen des Meteoreisens durch das Zustandsdiagramm des Systems Eisen—Nickel—Phosphor. Abh. d. Gesellschaft d. Wissensch. zu Göttingen, Math.-Phys. Klasse III, 1932.

stand ist, wie sich zeigen wird, für die Deutung dieser Formen von besonderer Bedeutung. Ein Beispiel von Verwachsung des Troilit mit Daubreelith aus dem Eisen von Coahuila ist in Taf. VII Abb. 14 wiedergegeben. Die untere Hälfte der Abbildung wird eingenommen von Troilit. Darin eingebettet bemerkt man unten eine Nadel aus Daubreelith. Ein großer Keil von Daubreelith springt von links her ein, das ihn oben begrenzende helle Band besteht aus Schreibersit, die oberhalb noch sichtbare Umgebung aus Kamazit. Unter dem Mikroskop sind die Gefügebestandteile leicht an ihrer Farbe zu erkennen: der Troilit erscheint gelb-braun, der Daubreelith rein grau, der Schreibersit weiß. Die dunklen Stellen in der Figur sind durch die Sprödigkeit der drei Kristallarten beim Schleifen entstandene Spalten und Löcher.

II. Das System Fe—FeS.

Zur Deutung des Troilit als Gefügebestandteil des meteorischen Eisens hat man von dem Zustandsdiagramm des Systems Fe—FeS (Abb. 2) auszugehen. Demselben ist zu entnehmen, daß Eisen und Eisensulfid im flüssigen Zustande in allen Verhältnissen mischbar sind. Das Vorkommen von tropfenförmigem Troilit wäre also auf dieser Grundlage zunächst nicht verständlich. Jedoch können besondere Umstände zu einer Entmischung führen, wie im Abschnitt IV auseinandergesetzt wird.

Der durch den Troilit bedingte Schwefelgehalt des meteorischen Eisens ist sehr gering und scheint nie mehr als wenige Zehntel Prozente zu betragen.

Wie aus dem Zustandsdiagramm (Abb. 2) zu ersehen ist, kann sich bei der Kristallisation von flüssigem Eisen mit so geringem Schwefelgehalt das Eisensulfid nur als sekundärer Gefügebestandteil ausbilden. In Folge der primären Kristallisation des Eisens reichert sich die Schmelze mit sinkender Temperatur nach Maßgabe der Kurve ae immer mehr an Schwefel an, bis sie bei 980° die eutektische Konzentration e erreicht hat. Zum Schluß erstarrt die jetzt noch vorhandene sehr kleine Menge der Restschmelze e zu einem Eutektikum, welches dem Verhältnis der Konodenabschnitte ge und eh entsprechend aus wenig Eisen und einer überwiegenden Menge von Eisensulfid besteht. Da die Menge des Eutektikums im Vergleich zu der des primär aus-

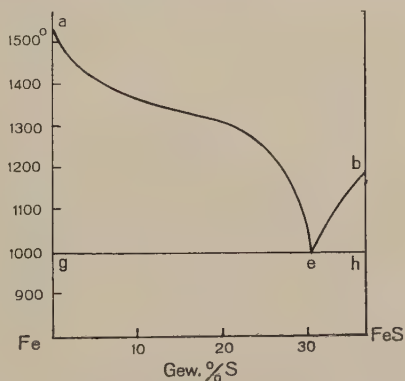


Abb. 2. Zustandsdiagramm des Systems Eisen—Eisensulfid.

geschiedenen Eisens sehr gering ist, so bildet in dem so entstandenen Gefüge das Eisen eine zusammenhängende Masse, in welcher man hier und da Einschlüsse des Eutektikums verstreut findet.

Bemerkenswert ist nun die anormale Ausbildung dieses Eutektikums. Dasselbe besteht nicht, wie es der Regel entspricht, aus gesonderten Teilchen beider Komponenten, sondern man findet, wie in Taf. V Abb. 3 ersichtlich, zwischen den dendritischen Verästelungen des primär ausgeschiedenen Eisens lediglich Einschlüsse von Schwefeleisen. Das ist offenbar darauf zurückzuführen, daß das in der eutektischen Schmelze noch vorhandene Eisen bei seiner eutektischen Abscheidung sich dem schon primär ausgeschiedenen Eisen anlagert.

Die Form sekundärer Sulfidausscheidungen ist hier durch die dendritischen Wachstumsrücken des primär ausgeschiedenen Eisens bestimmt. So entstehen die aus Taf. V Abb. 3 ersichtlichen gestreckten, parallel geordneten und verzweigten Gebilde. Ihnen entsprechen die unregelmäßigen Troilitformen

Wenn unter andersartigen Wachstumsbedingungen nicht Dendrite, sondern Kristalle entstehen, an denen Würfelflächen vorkommen, so würde die Ansammlung und Erstarrung der sulfidischen Restschmelze zwischen solchen Flächen eine Reichenbachsche Lamelle ergeben.

FeS soll im festen Eisen etwas löslich sein¹⁾. Eine für diesen Fall zu erwartende Ausscheidung von FeS innerhalb der Eisenkristallide ist aber im allgemeinen nicht zu beobachten und konnte auch vom Verf. an einer Probe mit 2% S nach 65stündigem Tempern bei 600° nicht nachgewiesen werden. Daher sind wohl alle meteorischen Sulfidausscheidungen, auch die orientierten Reichenbachschen Lamellen als Erstarrungsprodukte einer sulfidischen Restschmelze aufzufassen.

III. Erhitzungsversuche.

Wie aus dem Zustandsdiagramm Abb. 2 zu entnehmen ist, schmilzt Eisensulfid in Berührung mit Eisen bei 980° zu der eutektischen Schmelze e und bei weiterer Steigerung der Temperatur schreitet die Auflösung des Eisens weiter fort. Die Wirkung einer solchen Erhitzung auf einen Troiliteinschluß des Eisens von N'Goureyrna zeigt Taf. VI Abb. 6. Die ursprünglich aus reinem Sulfid bestehende, glatt umgrenzte Masse enthält jetzt im Innern als Folge der begonnenen Auflösung helle Eisenausscheidungen und läßt am Rande zahlreiche weiße Einbuchtungen erkennen, welche durch Wiederausscheidung von Eisen aus der entstandenen Lösung hervorgerufen sind und sich — ein Bei-

¹⁾ M. Hansen, Der Aufbau der Zweistofflegierungen. Berlin, Springer. 1936 S. 724.

spiel für die schon erwähnte Erscheinung — als einfache Fortwachsungen des umgebenden Eisens darstellen. Bei längerem Erhitzen auf höhere Temperatur geht die ursprüngliche Form eines Troilites völlig verloren, und an seiner Stelle erscheint ein Auflösungsgefüge, wie es in Taf. VI Abb. 7 wiedergegeben ist. Dasselbe ist charakterisiert durch zahlreiche kleine abgerundete Eisenausscheidungen, deren Zwischenräume durch das dunklere Eisensulfid ausgefüllt sind. Bei einem Vergleich mit den etwas gröberen Troilitausscheidungen des N'Goureymaiseisens in Taf. V Abb. 4 überzeugt man sich von der Gleichartigkeit beider Gefüge, welche sich nur größenordnungsmäßig unterscheiden. Hierzu sind auch Troilitformen wie die in Abb. 1e, f, g zu rechnen. Dagegen läßt Taf. V Abb. 5 eher an einen Troilittropfen denken, der selbst wieder einen Eisentropfen einschließt.

Daß ein Troiliteinschluß nach stattgehabter Schmelzung und Wiedererstarrung nicht wieder die ursprüngliche Form einnimmt, sondern ein feinkörnigeres heterogenes Gefüge entsteht, ist nach den Erfahrungen über die Vergrößerung und Vereinfachung der Ausscheidungsformen bei längerem Verweilen auf hoher Temperatur auf die verschiedene Erstarrungsgeschwindigkeit zurückzuführen, welche bei Laboratoriumsversuchen und auch wohl bei anderweitiger Wiedererhitzung von meteorischem Eisen durch Menschenhand sehr viel größer war, als die der ursprünglichen meteorischen Schmelze.

Veränderungen des Troilit und Auflösungsgefüge wie in Taf. VI Abb. 6 und 7 gehören zu den Kennzeichen der Wiedererhitzung meteorischen Eisens. Hinsichtlich der Erhitzungstemperatur ist noch der Nickelgehalt des Meteoreisens zu berücksichtigen, welcher zu rund 10% angenommen, die Temperatur des eutektischen Schmelzens noch weiter auf 950° erniedrigt¹⁾. Diese Temperatur muß also, wenn der Troilit die beschriebenen Kennzeichen der Schmelzung zeigt, bei der Wiedererhitzung des Meteoreisens mindestens erreicht worden sein.

IV. Die Tropfenform des Troilit.

Die Vermutung, daß es sich bei den kugeligen Troilitknollen um erstarrte Tropfen von Schwefeleisen handeln könne, wird nahe gelegt durch das Ergebnis, zu welchem die Seismik hinsichtlich des Aufbaues des Erdkörpers gelangt ist. Danach besteht derselbe aus einem zentralen Eisen—Nickel-Kern, einer diesen umhüllenden Sulfidschale, die der Hauptsache nach aus Schwefeleisen besteht und einer die Oberfläche bildenden Silikatschale. Von dieser Trennung müssen wir wohl annehmen, daß sie im flüssigen Zustande erfolgt ist. Unser Planet

¹⁾ Vgl. R. Vogel und W. Tonn, Über das ternäre System Eisen-Nickel-Schwefel. Arch. f. d. Eisenhüttenw. 3, 773, Abb. 13; Zustandsraum S + M + FeS beginnt bei 10% Ni links bei 950°.

bildete also ehemals ein System aus drei flüssigen Schichten. Ein derartiges System im Kleinen entsteht öfters bei metallurgischen Prozessen. Zu unterst lagert sich eine flüssige metallische Schicht, die Sau, darüber eine sulfidische Schicht, der Stein und zu oberst eine Silikatschicht, die Schlacke. Die Trennung der Sulfid- von der Silikatschicht erklärt sich in beiden Fällen aus der allgemeinen Nichtmischbarkeit der Sulfide und Silikate im flüssigen Zustande. Auch viele Metalle sind — eine dem Metallurgen willkommene Eigenschaft — mit ihren Sulfiden nicht mischbar, wie z. B. Kupfer und Kupfersulfür. Für das Eisen trifft dies aber nicht zu, Eisen und Eisensulfid mischen sich vielmehr, wie aus Abb. 2 ersichtlich, in allen Verhältnissen und ihre Absonderung in Form von Schichten oder Tropfen muß daher eine besondere Ursache haben.

Nun hat die Untersuchung des Einflusses dritter Elemente auf das System Fe—FeS¹⁾ gezeigt, daß zahlreiche Elemente, darunter auch einige Begleitelemente des meteorischen Eisens, eine Entmischung im flüssigen Zustande hervorrufen.

Der wichtigste Begleiter des meteorischen Eisens, das Nickel, hat allerdings diese Wirkung nicht, denn wie das Zustandsdiagramm des ternären Systems Fe—S—Ni zeigt²⁾, besteht darin vollkommene Mischbarkeit. Denselben ist auch zu entnehmen, daß der Nickelgehalt des Meteoreisens die Ausscheidungsbedingungen des FeS nicht wesentlich verändert, indem an Stelle des Eisens im Gefüge einfach ein binärer Eisen—Nickel-Mischkristall, welcher das gesamte Nickel enthält, tritt.

Wohl aber wirken die dem meteorischen Eisen beigemengten Metalloide Phosphor³⁾, Kohlenstoff⁴⁾, sowie das Chrom⁵⁾ im Sinne einer Entmischung. Von ihnen ist der Phosphor mit Gehalten von meist einigen Zehntelprozenten ein ebenso regelmäßiger Begleiter des meteorischen Eisens wie das Nickel. Sein Einfluß muß daher vor allem erörtert werden.

a) Der Einfluß des Phosphors: Das Zustandsdiagramm des ternären Teilsystems Fe—FeS—Fe₃P, welches hier gebraucht wird, ist in Abb. 3 wiedergegeben. Auf den Dreieckseiten Fe—FeS und Fe—Fe₃P sind die Schwefel- bzw. Phosphorgehalte der in diesem Teilgebiet liegenden Legierungen in Gew.-% aufgetragen, die Temperaturachse

¹⁾ Dreistoffsysteme auf der Basis Fe—FeS und ihre Anwendungen, Transactions of Chalmers University of Technology Gothenburg, Schweden No. 18, 1943.

²⁾ Vgl. Vogel und Tonn l. c.

³⁾ R. Vogel und O. de Vries, Das ternäre System Eisen—Phosphor—Schwefel. Arch. f. d. E. 4, 613 (1930/31).

⁴⁾ R. Vogel und G. Ritzau, Das ternäre System Eisen—Kohlenstoff—Schwefel. Arch. f. d. E. 4, 549 (1930/31).

⁵⁾ R. Vogel und R. Reinbach, Das System Eisen—Chrom—Chromsulfid—Eisensulfid. Arch. f. d. E. 11, 457 (1937/38).

ist senkrecht zur Zeichenebene zu denken, die Pfeile der Raumkurven weisen nach tieferen Temperaturen. In dieser Projektion des räumlichen Temperatur-Konzentrations-Diagrammes in die Konzentrationsebene umgrenzt die Kurve MS_kN eine Mischungslücke im flüssigen Zustande, welche von dem Randsystem $FeS-Fe_3P$ ausgeht und sich gegen das Randsystem $Fe-FeS$ hin schließt. Wie die Richtungen der Konoden $\varphi_1 f_1$, $\varphi_2 f_2$, $F_2 F_1$ anzeigen, sind innerhalb dieses Bereiches der Mischungslücke immer je zwei flüssige Phasen miteinander im Gleichgewicht: Eisenreiche von den Zusammensetzungen NS_k mit sulfidreichen von den Zusammensetzungen MS_k , d. h. Gemenge von Eisen, Eisensulfid und Eisenphosphid, deren Zusammensetzungen innerhalb des Konzentrationsbereiches der Mischungslücke $NS_k M$ liegen, spalten sich beim Schmelzen in zwei entsprechend zusammengesetzte flüssige Schichten.

Die Zusammensetzungen derselben werden mit abnehmenden Phosphorgehalten der Gemenge nach

Maßgabe der Konoden $\varphi_2 f_2$, $\varphi_1 f_1$...

einander immer ähnlicher, bis sie schließlich bei 2% P im kritischen Punkt S_k identisch werden. Zusätze von Phosphor zu Mischungen von Eisen und Eisensulfid, durch welche die Kurve MS_kN erreicht bzw. überschritten wird, bewirken also eine Trennung der ursprünglich homogenen Schmelze in zwei Flüssigkeiten, eine eisen- und eine sulfidreiche, welche sich als Schichten übereinander lagern.

Rührt man ein solches System aus zwei flüssigen Schichten um, so werden Teile der einen Schicht von dieser los- und in die andere hineingerissen, wo sie Tropfen bilden, und wenn diese, etwa infolge schneller Kristallisation der Masse, keine Gelegenheit finden, sich mit ihrer Schicht wieder zu vereinigen, so verbleiben sie in der anderen Schicht, um dort als Tropfen zu kristallisieren. Ein solches Bild aus

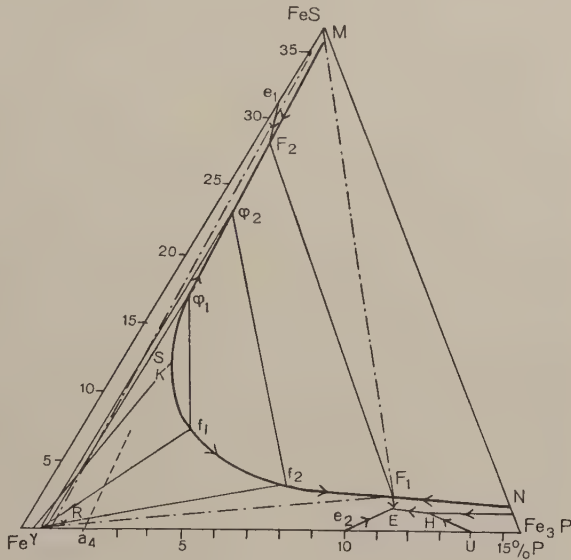


Abb. 3. Zustandsdiagramm des Systems
Eisen—Schwefel—Phosphor.

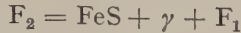
dem System Fe—S—C zeigt Taf. VI Abb. 8. Unten sieht man die helle metallische Schicht, durchsetzt von dunklen sulfidischen Tropfen, welche dem Troilit entsprechen würden, und darüber die spezifisch leichtere dunkle sulfidische Schicht mit hellen metallischen Tropfen. Der Umstand, daß beide Schichten und ihre Tropfen aus einem primär und einem sekundär ausgeschiedenen Gefügeelement bestehen, läßt erkennen, daß es sich um Lösungen handelte, also um nur partielle Nichtmischbarkeit im flüssigen Zustande.

Auf diesem Wege ist aber eine tropfenförmige Ausbildung des Troilit noch nicht zu verstehen, denn die Mischungslücke reicht bei weitem nicht bis zu den kleinen S- und P-Gehalten des Meteoreisens, vielmehr liegen diese ganz innerhalb des Löslichkeitsgebietes.

Nun gibt es aber außerhalb der Mischungslücke noch ein Konzentrationsgebiet der Sekundärentmischung γ , FeS, M S_k F_1 γ in Abb. 3, wo Tropfen erst sekundär in einem bestimmten Abschnitt des Kristallisationsvorganges entstehen, und man erkennt, daß dieses Gebiet im Punkt γ bis 0% Schwefel herunterreicht. Dies beruht darauf, daß FeS mit Fe praktisch keine Mischkristalle bildet. Die Mindestgehalte der Legierungen an Phosphor, welche für den Eintritt der Sekundärentmischung erforderlich sind, liegen auf der Geraden γ FeS. Der Punkt γ ist bestimmt durch den P-Gehalt eines an Fe_3P gesättigten Mischkristalles des γ -Eisens. Seine genaue Lage auf der Abszisse kann zwar, weil experimentell schwer feststellbar, nicht mit Sicherheit angegeben werden, jedoch kommt ein Phosphorgehalt von höchstens 1%, wahrscheinlich aber nur einige Zehntelprozent in Frage. Das Feld der Sekundärentmischung erstreckt sich also bis zu den kleinen Schwefel- und Phosphorgehalten des Meteoreisens, und damit ist die Möglichkeit gegeben, daß gegen das Ende der Erstarrung der meteorischen Schmelze Eisensulfid sich in Tropfenform absondern konnte. Wie das geschieht, möge an einer Legierung R mit sehr kleinen S- und P-Gehalt erläutert werden.

Die ursprünglich homogene Schmelze R beginnt zu kristallisieren unter Abscheidung binärer Fe—P-Mischkristalle, deren P-Gehalte zwischen Fe und γ liegen. Hierdurch gelangt die Zusammensetzung der Schmelze in einen Punkt des Kurvenstückes NS_k der Mischungslücke. Von jetzt ab ist die fortschreitende Ausscheidung der Fe—P-Mischkristalle begleitet von der Bildung sulfidischer Tröpfchen, deren S-Gehalte auf dem Kurvenast S_kM in der Pfeilrichtung zunehmen. Wenn die Tröpfchen die Zusammensetzung F_2 und gleichzeitig die kleinen Mengen von metallischer Restschmelze auf dem Kurvenast KF_1 die Zusammensetzung F_1 erreicht haben, erstarren (bei 973°) die S-reichen Tropfen in der Hauptsache zu FeS, unter gleichzeitiger

Abscheidung kleiner Mengen von γ -Mischkristallen und Schmelze F_1 entsprechend der 4-Phasenreaktion



und zuletzt erstarrt auch der kleine Schmelzerest F_1 zu FeS und einem γ -Mischkristall. Das so entstandene Gefüge muß also die sekundären Sulfidausscheidungen in Tropfenform zeigen.

Damit auch das Eutektikum E, also das Eisenphosphid, zur Abscheidung gelangt, ist ein P-Gehalt der Legierung von über 2% erforderlich, entsprechend der durch Strichelung angedeuteten von a_4 ausgehenden Grenze der Ebene des ternären Eutektikums. Bei den P-Gehalten von einigen Zehntelprozenten des meteorischen Eisens ist also wohl die tropfenförmige Absonderung des Troilit möglich, dagegen deutet das Auftreten von Schreibersit auf eine lokalisierte abnorme Anreicherung des Phosphors.

In dem Gefüge von Legierungen, welche etwas über 2% P enthalten, werden daher die tropfenförmigen Sulfidausscheidungen umgeben sein von kleinen Bezirken des zuletzt entstandenen Phosphideutektikums. Taf. VI Abb. 9 zeigt dies Gefügebild an einer Probe mit 2,5% P und 6% S. Das Phosphideutektikum hat hier mit seiner scharfen Abgrenzung gegen die Umgebung ein anderes Aussehen als das meteorische in Taf. V Abb. 1. Dies ist jedoch nur eine Folge seiner schnellen Kristallisation, denn nach 3stündigem Tempern bei 900° hat sich das Eutektikum schon wesentlich vergrößert und die Phosphidkomponente bildet Ausbuchtungen in die Umgebung. Wie Taf. VI Abb. 10 bei gleicher Vergrößerung zeigt, ist dadurch das Eutektikum dem meteorischen bereits viel ähnlicher geworden. Die Sulfidausscheidungen: oben und rechts unten ein von hellem Phosphid umhüllter Tropfen, sowie rechts oben eine nicht tropfenförmige Ausscheidung, sind in Wirklichkeit an ihrer gelblich-braunen Farbe leicht zu erkennen. Die kleinen Phosphidnadelchen in der Grundmasse des γ -Mischkristalls haben sich beim Tempern ausgeschieden und entsprechen dem Rhabdit¹⁾.

Zu beachten ist die feingezackte Umgrenzung der Phosphidmassen. Sie wird dadurch verursacht, daß eutektische γ -Mischkristallpartikel auswandern und sich der Umgebung anschließen, wodurch bei fortgesetztem Tempern die Ähnlichkeit des Gefüges mit Taf. V Abb. 1 immer mehr zunimmt. In ähnlicher Weise verändert sich auch vorübergehend die ursprüngliche runde Tropfenform des FeS durch Auswanderung darin abgeschiedener Gefügebestandteile. Vgl. Abb. 1a und b sowie

¹⁾ R. Vogel, Über die Strukturformen des Meteoreisens und ihre Beeinflussung durch Phosphor, Abhandlung der Gesellschaft d. Wissensch. zu Göttingen, Math.-Phys. Kl. XII, 1927.

Taf. VII Abb. 11. Hieraus erklärt sich auch, warum die Troilittropfen, obwohl sie im flüssigen Zustand eine Lösung darstellten (vgl. Abb. 3) gewöhnlich aus reinem FeS bestehen, wie man es im Falle völliger Unlöslichkeit erwarten sollte.

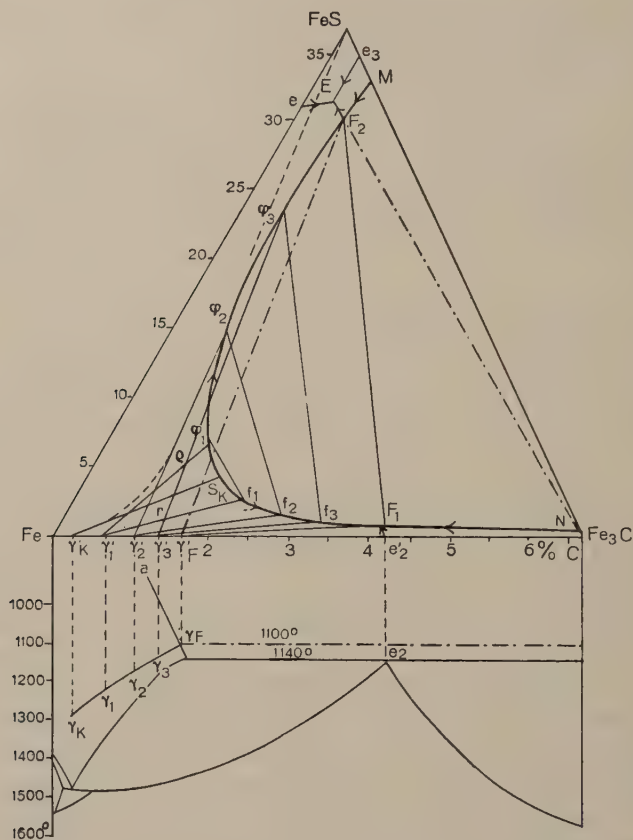


Abb. 4. Zustandsdiagramm des Systems Eisen-Schwefel-Kohlenstoff.

Die Verwachsung des Troilit und Schreibersit, wie sie Taf. V Abb. 1 zeigt, ist, wie schon erwähnt, sehr häufig, und das Vorhandensein des Schreibersit ein sicheres Zeichen, daß der Troilit in Tropfenform vorliegt.

b) Der Einfluß des Kohlenstoffs: Wie der Phosphor, so kann auch der Kohlenstoffgehalt des Meteoreisens eine Absonderung des Troilit in Tropfenform hervorrufen. Dies ergibt sich aus dem Zustandsdiagramm des ternären Teilsystems Fe—FeS—Fe₃C, Abb. 4. Da die Löslichkeitsverhältnisse sich nicht wesentlich ändern, wenn an die Stelle des Eisenkarbids Graphit tritt, so gelten die folgenden auf Fe₃C bezüglichen Überlegungen auch ohne weiteres für Graphit.

Wie aus Abb. 4 ersichtlich, liegen die Verhältnisse hier ähnlich wie im System Fe—FeS—Fe₃P. Die Kurve MS_kN umgrenzt die Mischungslücke im flüssigen Zustand, welche durch die nur sehr geringe gegenseitige Löslichkeit von flüssigem Eisenkarbid und Eisensulfid bedingt, sich weit bis in die Eisenecke hinein erstreckt, jedoch, ähnlich wie im System Fe—S—P bei weitem nicht bis zu den kleinen S- und C-Gehalten des Meteoreisens. Auch hier, wie beim Phosphor kann daher für eine tropfenförmige Abscheidung des Troilit nur die Sekundärentmischung in Frage kommen. Diese erfolgt innerhalb des Konzentrationsbereiches $\gamma_k \varphi_2 F_2 S_k F_1 N Fe_3 C \gamma_k$, jedoch ist der Kristallisationsverlauf wegen der verschiedenen Lage des eutektischen Punktes E und des kritischen Punktes S_k hier etwas komplizierter und verschieden, jenachdem der S-Gehalt eines Kohlenstoffeisens über oder unter der kritischen Konode $\gamma'_k S_k$ liegt.

1. Eine Schmelze ϱ mit höherem S-Gehalt beginnt bei ihrer Abkühlung unter Ausscheidung von Mischkristallen des γ -Eisens mit C (im folgenden kurz „ γ -Mischkristalle“) zu erstarren und ihre Zusammensetzung muß dabei den oberen Kurvenast S_kF₂ erreichen. Dies möge bei einer Temperatur t_1 im Punkt φ_1 stattfinden. Von da ab entstehen bei fortdauernder Abscheidung von γ -Mischkristallen in der Schmelze φ_1 Fe—C-reiche Tropfen der Anfangszusammensetzung f_1 . Für diesen Zustand gilt das Konodendreieck $\gamma_1 \varphi_1 f_1$, dessen Ecken die jetzt vorhandenen Zusammensetzungen und Mengenverhältnisse der drei Phasen angeben. Mit weiter sinkender Temperatur ändert sich darauf die Zusammensetzung 1. des γ -Mischkristalls auf der Kurve $\gamma_k \gamma_F$, welche in der Ebene des Zustandsdiagrammes Fe—C verläuft, von γ_1 ab in der Pfeilrichtung, 2. die der Schmelze φ_1 durch weitere Ausscheidung von γ -Mischkristallen auf dem Kurvenast S_kF₂ in der Pfeilrichtung und 3. die Zusammensetzung der sich abscheidenden Tropfen entsprechend auf S_kF₁. Bei t_2 haben so die drei Phasen die Zusammensetzungen $\gamma'_2 \varphi_2 f_2$ erreicht und die Lage der Ausgangsschmelze ϱ innerhalb des Konodendreiecks $\gamma'_2 \varphi_2 f_2$ zeigt, daß die Menge der abgesonderten Tropfen einen gewissen Betrag erreicht hat. Ist die Temperatur aber bis auf t_3 gesunken, so hat sich die Lage des jetzt geltenden Konodendreiecks $\gamma_3 \varphi_3 f_3$ derart verändert, daß die Konode $\gamma'_3 \varphi_3$ wieder wie die Anfangskonode $\gamma'_1 \varphi_1$ durch den Punkt der Ausgangsschmelze ϱ geht. Dies bedeutet, daß die vorher entstandene zweite flüssige Phase auf dem Kurvenast S_kF₁, bei fortwährender Ausscheidung von γ -Mischkristallen wieder verschwunden, die Entmischung also rückläufig geworden ist. Die noch vorhandene Schmelze φ_3 muß jetzt den Kurvenast S_kF₂, den sie von φ_1 bis φ_3 durchlaufen hat, wieder verlassen und unter fortdauernder Ausscheidung von γ -Mischkristallen den ternären eutektischen Punkt E

erreichen, wo der Erstarrungsvorgang bei 975° mit der Bildung des ternären Eutektikums, welches nahezu dem binären Fe—FeS Eutektikum entspricht, endigt.

2. Eine Schmelze 1 mit kleinerem S-Gehalt möge bei ihrer Kristallisation den unteren Kurvenast $S_k F_1$ im Punkt f_1 erreichen. Jetzt sondern sich zugleich mit den γ -Mischkristallen der Kurve $\gamma_k \gamma_F$ aus den Schmelzen f_1 bis f_3 sulfidreichere Tropfen φ_1 bis φ_3 ab. Unter fortwährender Abscheidung von γ -Mischkristallen verschwindet in f_3 diese flüssige Phase und die verbleibende φ_3 kristallisiert wie oben beschrieben.

Bei kleineren S-Gehalten des Kohlenstoffeisens muß also im Verlauf der Kristallisation immer eine geringe Menge einer sulfidreichen Restschmelze entstehen, welche sich in dem zuletzt beschriebenen Fall tropfenförmig absondert. In Taf. VII Abb. 11 bei 1% S und 1% C sieht man auf diesem Wege entstandene größere und kleinere Sulfidtropfen, deren Anordnung die Korngrenzen der primär ausgeschiedenen γ -Mischkristalle, welche die Grundmasse bilden, markiert. Der größere Tropfen links mit der hineinragenden hellen Eisenzunge entspricht dem in Abb. 1 wiedergegebenen meteorischen Sulfidtropfen in Bella Roca.

Damit sich aus der Schmelze auch Eisenkarbid bilden kann, sind Kohlenstoffgehalte erforderlich, welche rechts der von FeS nach $\gamma_2 = 1\% \text{ C}$ verlaufenden Grenze der eutektischen Ebene $\gamma_2 \text{ FeS Fe}_3 \text{ C}$ liegen. Das Eisenkarbid erscheint dann als Bestandteil des ternären Eutektikums E und ist auch innerhalb der sulfidischen Tropfen zu erwarten.¹⁾ Da die C-Gehalte der Meteoreisen, ähnlich wie ihre P-Gehalte, nur wenige Zehntelprozent betragen, so wird auch hier wohl die tropfenförmige Absonderung des Troilit verständlich, das Auftreten von Cohenit jedoch nur als Folge lokaler Kohlenstoffanreicherung.

Taf. VII Abb. 12 zeigt die hellen eutektischen Karbidausscheidungen in einer Legierung mit 2% S und 3% C und von ihnen umhüllt einen größeren, sowie rechts und unten verschiedene kleinere Sulfidtropfen, welche letztere sich durch ihre mattere Tönung von den dunkleren Partikeln der γ -Mischkristallkomponente des Eutektikums unterscheiden. Dies Gefügebild entspricht völlig der von Cohen ge-

¹⁾ Es ist zu beachten, daß die Grenze des Ausscheidungsbereiches des ternären Eutektikums E, welche durch die vom Punkt FeS ausgehende gestrichelte Linie angedeutet ist, hier links, dagegen in Abb. 3 rechts von der strichpunktiierten Grenze der 4-Phasenebene liegt. Daher tritt bei wachsendem C-Gehalt der Legierungen zuerst das ternäre Eutektikum auf und dann erst werden von 2 flüssigen Phasen die Punkte F_1 und F_2 erreicht, während bei wachsenden P-Gehalten die Reihenfolge umgekehrt ist.

gebenen Beschreibung des Cohenit: Die Kristalle von Cohenit bilden „meist mannigfach verzweigte Aggregate. Troilit scheint letzteren häufig als Nukleus gedient zu haben“.

Andererseits ist nach Cohen die „Vergesellschaftung von Schwefel-eisen und Graphit eine außerordentlich häufige, ja vielleicht konstante Erscheinung“. Dieses häufige Auftreten von Graphit an Stelle des Karbids erklärt sich aus der bekannten Eigenschaft des Eisenkarbids, sich beim Tempern oder bei sehr langsamer Abkühlung unter Abscheidung von Graphit zu zersetzen, ein Vorgang, der durch die ständigen Begleiter des meteorischen Eisens, Nickel und Phosphor, noch beschleunigt wird. Auch begünstigen dieselben die primäre Ausscheidung von Graphit an Stelle von Karbid aus der Schmelze¹⁾ 2). In Taf. VII Abb. 13 sieht man einen großen und zwei kleine von Graphit umhüllte Sulfidtropfen, zwei kleine nicht umhüllte und eine Anzahl größerer und kleinerer Ausscheidungen von Graphit, die vielleicht teilweise als

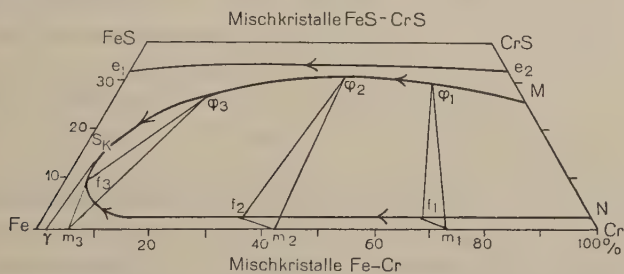


Abb. 5. Zustandsdiagramm des Systems Eisen-Schwefel-Chrom.

angeschnittene Sulfidumhüllungen anzusprechen sind. Der Graphit hat sich erst nach 10stündigem Erhitzen der Probe bei 900° durch Zerfall von ursprünglich vorhandenem Eisenkarbid gebildet, und ähnlich wird im Falle des meteorischen Eisens das Vorhandensein von Graphit als Folge langsamer Abkühlung verständlich.

c) Der Einfluß des Chroms: Aus dem in Abb. 5 wiedergegebenen Zustandsdiagramm des Systems Fe—Cr—S ist zu entnehmen, daß auch Chrom, ähnlich wie Phosphor und Kohlenstoff, auf flüssiges schwefelhaltiges Eisen im Sinne einer Entmischung der homogenen Schmelze in zwei flüssige Phasen, in eisenreiche f_1 , f_2 , f_3 . . . und schwefelreiche φ_1 , φ_2 , φ_3 . . . wirkt. Die Sekundärentmischung, welche bei den geringen Cr- und S-Gehalten des meteorischen Eisens auch hier ausschließlich in Frage kommt, erfolgt in dem Konzentrationsbereich S_k/CrNS_k . Schmelzen dieses Gebietes ändern ihre Zusammen-

¹⁾ R. Vogel, Über das ternäre System Fe—S—C. Arch. 3, 4 (1929).

²⁾ Kasé, Über das System Fe—Ni—C, Science Reports of de Tohoku-University Japan XIV, 1925.

setzung durch Primärabscheidung von Fe—Cr-Mischkristallen in derart, daß sie den Kurvenast $N S_k$ der Mischungslücke erreichen. Damit beginnt die sekundäre Bildung sulfidischer Tropfen φ des Kurvenastes $M S_k$, wobei die jeweils koexistierenden Phasen durch Konodendreiecke, wie $f_2 m_2 \varphi_2$, gekennzeichnet sind. Die hierbei entstehenden sulfidischen Tropfen kristallisieren, indem sie auf die Kurve $e_1 e_2$ gelangen, zu einem Eutektikum, das in der Hauptsache aus Mischkristallen von Eisensulfid und Chromsulfid und einer geringen Menge eines Fe—Cr-Mischkristalles besteht.

Daß der Kristallisationsvorgang hier zu einem Mischkristall der beiden Sulfide FeS und CrS führt, ist überraschend angesichts der Tatsache, daß im meteorischen Eisen reines Eisensulfid und das als Daubreelith bezeichnete Doppelsulfid $FeCr_2S_4 = FeS:Cr_2S_3$ als zwei selbständige Phasen vorkommen. Da ein Eisenchromsulfid, welches auf der Linie FeS— Cr_2S_3 liegt, sich aus Schmelzen des Gebietes Fe—FeS—CrS—Cr nicht ausscheiden kann, so muß zur Erklärung der Daubreelithbildung an eine Reaktion in festem Zustande gedacht werden. Hierfür scheint die Beobachtung zu sprechen, daß der Daubreelith den Troilit nicht allein umhüllt, sondern ihn häufig auch in Form parallelgerichteter Lamellen oder Nadeln, wie im unteren Teil von Taf. VII Abb. 14 durchsetzt, indessen bedürfen diese Verhältnisse noch der Klärung. Hier mag die Feststellung genügen, daß Chrom die Abtrennung einer flüssigen sulfidischen Phase begünstigt.

d) Lokalisierte Anreicherung der Beimengungen: Bei der Beurteilung des Einflusses der Phosphor- und Kohlenstoff-Gehalte der Meteoreisen auf tropfenförmige Ausbildung des Troilit ist noch ein anderes Moment zu berücksichtigen. Die vorstehenden Ergebnisse an Hand der betreffenden Zustandsdiagramme haben zur Voraussetzung, daß die meteorische Schmelze homogen, d. h., jedes Element darin gleichmäßig verteilt war. Verschiedene Beobachtungen sprechen aber dafür, daß dies nicht zutraf, sondern daß einzelne lokal angereichert waren. Solche Erscheinungen sind:

1. der „fleckige“ Kamazit, dessen Flecken durch eine sehr feine lokalisierte α — γ -Entmischung hervorgerufen sind und einen Hinweis auf eine ungleichmäßige Zusammensetzung des Kamazits bilden;

2. das gelegentliche Auftreten des Phosphideutektikums (eutektischer Schreibersit für sich, ohne Troilit), welches nach dem ternären Zustandsdiagramm Fe—Ni—P eine lokale Erhöhung des P-Gehaltes auf mindestens 2% erfordert;

3. das sporadische Auftreten großer Schreibersitkristalle;

4. das schwarmartige Vorkommen der Rhabditnadelchen;

5. das Vorhandensein von Schreibersit, Cohenit und Daubreelith in Berührung mit Troilit.

Auch in der Umgebung von Schreibersit- und Cohenit-Massen, die sich aus dem flüssigen Zustande gebildet haben müssen, weist das Gefüge darauf hin, daß die im Gleichgewichtsfall erforderliche P- bzw. C-Konzentration des gesättigten Mischkristalles nicht vorhanden war, indem die zu erwartenden Ausscheidungen im festen Zustande: Rhabdit in der Umgebung von Schreibersiteutektikum und Perlit sowie Cementitnadeln in der Umgebung von eutektischem Cohenit, fehlen. In der Tat sind nach den Zustandsdiagrammen Abb. 3, 4, 5, die P-, C- und Cr-Gehalte der meteorischen Eisen, welche sich unter Berücksichtigung des Schreibersit, Cohenit und Daubreelith analytisch ergeben, nicht hinreichend, um die Abscheidung dieser Gefügebestandteile aus einer homogenen Schmelze zu erklären, vielmehr ist dafür eine entsprechende lokale Anreicherung der genannten Beimengungen erforderlich.

e) Die Entstehung zylindrischer Formen: Die zylindrischen Troilitformen können durch besondere Kristallisationsbedingungen der meteorischen Schmelze, welche ja zu riesigen Einkristallen geführt haben, bedingt sein.

Um den Einfluß eines einheitlich gerichteten Kristallwachstums, verbunden mit langsamer Kristallisation, zu prüfen, wurde mit Hilfe einer Apparatur zur Erzielung von Einkristallen eine 20 g schwere Schmelze aus 60% Cu und 40% Pb innerhalb einer Stunde von unten nach oben zur Kristallisation gebracht. Nach dem Zustandsdiagramm des Systems Cu—Pb (siehe Hansen „Die Zweistofflegierungen“) muß eine Schmelze dieser Zusammensetzung unter Kupferausscheidung und gleichzeitiger Bildung Pb-reicher Tröpfchen kristallisieren, welche letztere von dem wachsenden Kupfereinkristall umschlossen werden. Es war zu erwarten, daß diese Tröpfchen sich in vertikalen Reihen ordnen, vielleicht auch zusammenhängende Fäden oder Säulen bilden würden. Ein vertikaler Schnitt durch den erhaltenen Regulus bestätigte diese Vermutung. Es zeigte sich ein 10 mm langer und mehrere kleinere dünne Bleizylinder, welche alle unter sich parallel und in die Richtung des Wärmefflusses eingestellt waren.

Dieser Versuch zeigt, daß bei der Erstarrung einer Schmelze zu einem Einkristall eine gleichzeitig abgesonderte von ihm umwachsene flüssige Phase Zylinderform annehmen kann. Damit würde der zylindrische Troilit als ein gestreckter Sekundärtropfen verständlich, sofern die oben dargelegten Bedingungen für eine solche Absonderung des FeS erfüllt waren.

f) Der Einfluß des Druckes: Wenn man die Eisenmeteoriten als Kerntrümmer großer Weltkörper auffaßt, so muß auch der Einfluß des Druckes auf die Zustandsänderungen bei ihrer Erstarrung in Betracht gezogen werden. Durch Druck könnte im System Fe—FeS

eine Mischungslücke hervorgerufen und auch dadurch, ohne Beimengungen von Phosphor, Kohlenstoff oder Chrom, die tropfenförmige Absonderung des Troilit bewirkt werden. Daß eine Neigung zur Entmischung vorhanden ist, zeigt sowohl das Vorhandensein eines Wendepunktes auf der Abscheidungskurve $a—e$ des Eisens in Abb. 2, als auch, daß zahlreiche Elemente, z. T. schon in sehr geringer Menge, wie z. B. Aluminium und Mangan, in noch viel geringerer Menge als Phosphor, Kohlenstoff und Chrom eine Entmischung hervorrufen.

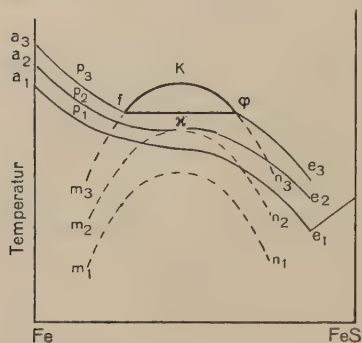


Abb. 6. Die Entstehung einer Mischungslücke im System Fe—FeS durch Druck.

Die Entstehung einer Mischungslücke im System Fe—FeS durch Druck ist in Abb. 6 zu sehen. In derselben sind drei Isobaren für steigende Drücke $p_1 p_2 p_3$ angegeben. Die erste $a_1 e_1$ ist die Primärabscheidungskurve des Eisens bei vollkommener Mischbarkeit unter gewöhnlichem Druck. Die Kurve $m_1 n_1$ der Mischungslücke liegt, da sie noch instabil ist, ganz unterhalb $a_1 e_1$. Eine Entmischung wäre hier nur auf dem Wege einer instabilen Zustandsänderung möglich, nämlich wenn

die an Eisen gesättigten Schmelzen der Kurve $a_1 e_1$ sich unterkühlten, und ihre Kristallisation erst bei den Temperaturen der Kurve $m_1 n_1$ einsetzte. Von p_2 ab, wo die beiden Kurven $a_2 e_2$ und $m_2 n_2$ sich in einem Wendepunkt der Kurve $a_2 e_2$ mit horizontaler Tangente x gerade berühren, beginnt die Mischungslücke stabil zu werden, und bei p_3 , wo die Kurve $m_3 n_3$ die vorher einheitliche, jetzt in zwei Stücke $a_3 f$ und $q e_3$ getrennte Lösungsisobare schneidet, ist eine stabile Mischungslücke $f K q$ entstanden. Auch hier kommt für die Bildung sulfidischer Tropfen wegen des geringen S-Gehaltes der meteorischen Schmelze nur die Sekundärentmischung ursprünglich homogener Schmelzen, deren S-Gehalt kleiner als f ist, in Frage.

Die in Abb. 6 angenommene Erhöhung der Schmelztemperaturen bzw. Abnahme der Löslichkeit durch steigenden Druck, entspricht der Volumenabnahme bei der Kristallisation, und ähnlich setzt die Entstehung einer Mischungslücke durch Druck voraus, daß auch die Entmischung der flüssigen Phase mit einer Volumenabnahme verbunden ist. Hierüber könnte man sich indirekt durch Dichtebestimmungen der flüssigen Fe—FeS-Mischungen orientieren, weil die Dichte, wenn sie bei der Mischung zunimmt, bei der Entmischung abnehmen muß. Diese Feststellung, daß durch Druckerhöhung eine Entmischung wirklich

eintreten muß, würde den experimentell kaum durchführbaren direkten Nachweis der Entmischung ersetzen können.

Zusammenfassung.

Der Troilit in seinen verschiedenen Ausscheidungsformen ist das Kristallisationsprodukt einer sulfidischen Restschmelze.

Infolge Ausbildung großer Primärkristalle von Nickeleisen können zwischen denselben die Sekundärausscheidungen von Eisensulfid die Form der Reichenbachschen Lamellen annehmen.

Im meteorischen Eisen enthaltene Beimengungen von Phosphor, Kohlenstoff und Chrom rufen eine tropfenförmige Absonderung des Schwefeleisens, die kugelförmigen Troilitknollen, hervor. Ihre Begleitung von Schreibersit, Cohenit, Daubreelith ist der sichere Beweis für tropfenförmige Absonderung. Wo diese Begleiter fehlen, können nach den betreffenden Zustandsdiagrammen rundliche Troilitformen ebenfalls als Tropfen vorliegen, jedoch sind hier auch aus homogener Schmelze entstandene Sekundärausscheidungen, welche bei langsamer Abkühlung ebenfalls Kugelformen annehmen können, nicht ausgeschlossen.

Zylinderförmig kann sich der Troilit als Sekundärtropfen innerhalb des meteorischen Einkristalls ausbilden.

Durch Wiederaufschmelzung des Troilit entsteht ein charakteristisches Auflösungsgefüge als eines der Merkmale der Wiedererhitzung des meteorischen Eisens, in diesem Falle auf mindestens 950°.

Die Ausscheidungen von Schreibersit, Cohenit und Daubreelith im meteorischen Eisen sprechen für eine ungleichmäßige Zusammensetzung der ursprünglichen meteorischen Schmelze, d. h. lokale Erhöhung ihres P-, C- und Cr-Gehaltes, wodurch die tropfenförmige Absonderung des Troilit an diesen Stellen begünstigt wird. Außerdem ist auch noch der Druck als mögliche Ursache einer Mischungslücke im System Fe-, FeS in Betracht zu ziehen.

Metallographisches Laboratorium, Göttingen, im September 1943.

Tafelerklärung.

Tafel V.

- Abb. 1. Tropfenförmiger Troilit mit Schreibersit im Eisen von Zacatecas. 100 ×.
Abb. 2. Reichenbachsche Lamellen im Eisen von Jewell Hill. $4\frac{1}{4}$ ×. (Nach A. Brezina und E. Cohen, Die Struktur und Zusammensetzung der Meteoreisen.)
Abb. 3. Sekundärausscheidungen von FeS in einer Legierung aus 98 % Fe und 2 % S.
Abb. 4. Troilitausscheidungen im Eisen von N'Goureyrna. 36 ×.
Abb. 5. Tropfenähnliche Troilitausscheidung im Eisen von N'Goureyrna. 36 ×.

Tafel VI.

- Abb. 6. Troilit im N'Goureyrnaeisen, Probe 7 Minuten auf 1000° erhitzt. 100 ×.
Abb. 7. Auflösungsgefüge eines ehemaligen Troiliteinschlusses nach Erhitzen der Probe auf 1200°. 175 ×.
Abb. 8. Schichten- und Tropfenbildung in einer Legierung aus 83,5 % Fe + 15 % S + 1,5 % C. 70 ×.
Abb. 9. Sekundärer Sulfidtropfen umgeben von Phosphideutektikum in Eisen mit 6 % S + 2,5 % P. 525 ×.
Abb. 10. Sekundärer Sulfidtropfen bei 6 % S + 2,5 % P, das sie umgebende Phosphideutektikum nach 3stündigem Tempern auf 900° stark vergrößert. 525 ×.

Tafel VII.

- Abb. 11. Sekundäre Sulfidtropfen in Eisen mit 1 % S + 1 % C. 160 ×.
Abb. 12. Von Eisenkarbid umhüllter sekundärer Sulfidtropfen bei 2 % S + 3 % C geätzt mit alkoh. Pikrinsäure. 400 ×.
Abb. 13. Von Graphit umhüllte sekundäre Sulfidtropfen bei 2 % S + 3 % C, das Karbid durch 10stündiges Tempern bei 900° in Graphit umgewandelt. Geätzt mit alk. Pikrinsäure. 400 ×.
Abb. 14. Daubreelith, verwachsen mit Troilit und Schreibersit im Eisen von Coahuila. 100 ×.
-

Untersuchungen über Teratolith (Eisensteinmark) von Planitz i. Sa.

Von

Hermann Jung und Leni Neuhaus, Jena.

I. Bisherige Untersuchungen.

Der Teratolith von Planitz wurde zuerst vom Edelsteininspektor Richter (Schneeberg) im Jahre 1732 unter dem Namen Terra miraculosa Saxoniae (Sächsische Wundererde) beschrieben und in Form kleiner Täfelchen in den Handel gebracht. Das Staatsmuseum für Mineralogie und Geologie in Dresden besitzt die große Sammlung von angeschliffenen Stücken, die in Chr. Richters Werk: Saxoniae Electoralis Miraculosa Terra (Schneeberg 1732) abgebildet sind. Breithaupt trennte im Jahre 1823 das Planitzer Material als festes, buntes Steinmark vom gemeinen Steinmark ab. Die Farbe war violettblau, selten weiß oder grau, und ungleichmäßig verteilt (wolkig, fleckig, gestreift, geadert usw.).

Von diesem Eisensteinmark wurde 1831 von D. Schüler [4] in Jena die erste chemische Analyse ausgeführt. Sein Material war von lavendelblauer Farbe mit roten Flecken, stark zerklüftet und mit Eisenocker durchsetzt. Bruch muscheliger. Härte $2\frac{1}{2}$. Spez. Gewicht 2,496. In Säuren unlöslich. Die Schülerschen Analysenwerte sind folgende:

SiO ₂	41,66 %	CaO	3,04 %	K ₂ O	0,93 %
Al ₂ O ₃	22,85 %	MgO	2,55 %	H ₂ O	14,20 %
Fe ₂ O ₃	12,98 %	MnO	1,68 %	Sa.	99,89 %

Da gegenwärtig verschiedene therapeutische Erden im hiesigen Mineralogischen Institut untersucht werden, wurde zum Vergleich

auch die Sächsische Wundererde erneut bearbeitet. Es wurde hierzu eine Probe benutzt, die aus der Gutbierschen Sammlung im Staatl. Museum für Mineralogie und Geologie in Dresden stammt, und für die ich Herrn Kollegen Fischer ebenso danke wie für verschiedene Literaturhinweise. Gutbier [2] war der erste, der eine gute geologische Beschreibung des Zwickauer Karbons im Jahre 1834 herausgab.

Der Teratolith tritt mehrere Meter mächtig unmittelbar im Hangenden eines Melaphyrs auf und wird von karbonischen Konglomeraten überlagert. Mitten im Teratolith wurden Steinkohlenpflanzen (*Calamites Suckowi* und *Annularia sphenophylloides*) gefunden. Nach den Erläuterungen zur geol. Spezialkarte [1] kommt er am Cainsdorf-Planitzer Fahrwege „wohlgeschichtet, sehr fein, rotbraun bis gelblich, mit gelblichweißen, roten oder violetten Schmitzen, Flecken und Adern vor. Zuweilen mild und talkartig, zuweilen rau und mager, mit muscheligen Bruch, an der Luft leicht zerbröckelnd. Die blauen bis violetten Varietäten wurden früher verwendet.“

II. Neue Untersuchungen.

Äußere Beschaffenheit des Materials: Mit dem Fingernagel kaum ritzbar, unregelmäßiger, scharfkantiger Bruch. Farbe grau-violett, einzelne Schichten rot oder schwarz. Bruchflächen z. T. mit Manganoxhydroxiden überzogen.

Spezifisches Gewicht: Wegen der Porosität konnte das spez. Gew. nicht nach der Auftriebsmethode bestimmt werden. Nach der Pyknometermethode (5 g Pulver, Meßkolben mit 50 ccm Inhalt) ergab sich bei 19° C der Wert $s = 2,64$ (3). — Das Raumgewicht R wurde zu 2,41 (6) bestimmt. Das Porenvolumen ist also: $n = \left(1 - \frac{R}{s}\right) \cdot 100\%$ = 8,6%.

Das Porenvolumen in Prozenten des Gesamtvolumens wurde nach der Formel: $\frac{(\text{Spez. Gew.} - \text{Raumgew.}) \cdot 100}{\text{Spez. Gew.}}$ berechnet. Es ergab sich 6%.

Chemisches Verhalten: 1 g Teratolithpulver wurde mit verd. Salzsäure (1 ccm konz. HCl auf 100 ccm H₂O) aufgekocht. Dabei gingen 2,07% in Lösung. Bei 10 ccm HCl auf 100 ccm H₂O wurden 3,87% gelöst, und bei HCl/H₂O = 1/1 wurde die Löslichkeit zu 21,68% festgestellt. Die Farbe des Pulvers blieb nach dem ersten und zweiten Löslichkeitsversuch unverändert, nach dem dritten war der Rückstand rein weiß.

Die neue quantitative Analyse, die nach den üblichen Methoden durchgeführt wurde, ergab folgende Werte:

SiO ₂	45,60 %	MnO	0,02 %	H ₂ O ⁻	10,70 %
Al ₂ O ₃	28,10 %	CaO	1,05 %	TiO ₂	0,26 %
Fe ₂ O ₃	12,58 %	Na ₂ O	0,85 %	P ₂ O ₅	0,00 %
FeO	0,00 %	K ₂ O	0,56 %	Sa.	100,65 %
MgO	0,13 %	H ₂ O	0,80 %	Anal. Dr. Leni Neuhaus.	

Spektralanalytisch [3] wurden außerdem nachgewiesen: Li, V, Ga, Zr (Mo, B?).

Zwischen der alten und neuen Analyse bestehen zwar beträchtliche Unterschiede, die wohl in erster Linie durch die Verschiedenheit des analysierten Materials bedingt sind. So deutet der hohe Mangan-gehalt der Schülerschen Analyse darauf hin, daß sein Material viel stärker von Mn-haltigen Klüften durchsetzt war als das zur neuen Analyse verwendete.

Das Verhältnis SiO₂:R₂O₃:H₂O ist 2,15:1:1,81. Da dieses Ver-hältnis sehr nahe dem des Kaolins ist, läßt sich vermuten, daß die Sächsische Wundererde im wesentlichen aus diesem Material (oder einem anderen der Kaolingruppe) besteht.

Mikroskopisches Verhalten: An einem Pulverpräparat er-kennt man, daß der Teratolith vorherrschend aus kleinen farblosen Schüppchen besteht, die fast alle eine schwache Doppelbrechung auf-weisen. Die Lichtbrechung wurde nach der Einbettungsmethode bestimmt ($1,55 < n < 1,568$); der erhaltene Wert entspricht dem des Kaolins. Etwas heller Glimmer ist an der höheren Licht- und Doppelbrechung zu erkennen. Quarz, der in tonigen Sedimenten dieser Korngröße immer anzutreffen ist, konnte auch hier nachgewiesen werden; er ist meist splitterig und scharfkantig ausgebildet mit einer durchschnittlichen Größe von 20—50 μ . Die größten Quarze sind etwa 70 μ groß. Die Auszählung ergab einen Quarzgehalt von 8% (vgl. die Quarzbestimmung mit Borfluorwasserstoffsäure).

Weiterhin besteht der Teratolith aus dunkelrotbraunem Eisen-oxhydrodrat, das nur zu einem kleinen Teil als Einschluß in den anderen Mineralien auftritt. Im Dünnschliff zeigt sich an vielen Stellen, daß das Eisenerz schichtig oder bandartig angeordnet ist. Feldspat und Kalzit ließen sich mikroskopisch nicht nachweisen, ihre Anwesenheit ist aber auf Grund der Berechnung der chemischen Analyse wahrscheinlich.

Quarzbestimmung mit Borfluorwasserstoffsäure: Da bei kleinen Korngrößen die Bestimmung des Quarzes schwierig und un-genau ist, wurde der Gehalt an Quarz mittels Borfluorwasserstoffsäure festgestellt. Dabei ergab sich 11,2%. Wie vorausszusehen war, liegt dieser Wert höher als der mikroskopisch ermittelte.

Entwässerung: Beim Erhitzen auf etwa 450° C gibt Kaolin sein Wasser praktisch vollkommen ab, während der Glimmer erst bei weit höherer Temperatur entwässert wird. Daher wurde eine Probe der feinpulverisierten Wundererde bei 480° C bis zur Gewichtskonstanz erhitzt, wobei sich ein Wasserverlust von 10,56 % ergab. Vorher war festgestellt worden, daß bei 110° C 0,80 % und bei 220° C 0,76 % entweichen. Der Wasserverlust bei 480° betrug also nur 9 %, das sind allerdings über 90 % des über 220° entweichenden Wassers, so daß vorherrschend Kaolin zu erwarten ist. Der noch verbleibende Rest von 0,94 % ist an Muslovit gebunden. Andere Mineralien der Kaolingrouppe (Nakrit, Dickit) sind nicht vorhanden, denn diese geben unterhalb 500° C nur ganz unbedeutende Mengen Wasser ab.

Berechnung des Mineralbestandes aus der chemischen Analyse (Tab. 1):

Diese Berechnung ließ sich verhältnismäßig leicht durchführen, da die Zusammensetzung der beteiligten Mineralien nur in engen Grenzen schwankt. Der Gang der Berechnung war folgender:

Tabelle 1.

Berechnung des Mineralbestandes aus den Molekularzahlen der chemischen Analyse.

Molekular- zahlen	1. CaCO ₃ +MgCO ₃	2. Kaolin	3. Muskovit	4. Albit	5. Limonit	6. Quarz	7. Rutil
SiO ₂ 760		500	36	84		140	
Al ₂ O ₃ 276		244	18	14			
Fe ₂ O ₃ 79		6			73		
MgO 3	3						
CaO 19	19						
Na ₂ O 14				14			
K ₂ O 6			6				
H ₂ O 585		500	12		73		
CO ₂ 22	22						
TiO ₂ 3							3
Gew.-%	2,15 %	64,85 %	4,78 %	7,32 %	12,99 %	8,40 %	0,26 %

Beim Behandeln mit verd. Salzsäure waren 2,07 % herausgelöst worden (Karbonate). Nimmt man also an, daß alles CaO + MgO als Karbonat gebunden ist, so berechnen sich 2,15 %. Da nicht genügend Material vorhanden war, um eine CO₂-Bestimmung vorzunehmen, wurde die für die Erdalkalien erforderliche Menge CO₂ vom Glühverlust in Abzug gebracht.

Die Mengen Kaolin findet man dadurch, daß man das bei 480° C entweichende Wasser (9 %) in Al₂O₃ · 2 SiO₂ · 2 H₂O umrechnet. Mus-

kovit berechnet man aus dem Kaligehalt, Albit¹⁾ aus dem Natriumgehalt. Da das Al_2O_3 für alle tonerdehaltigen Mineralien nicht ganz ausreicht, muß etwas Fe_2O_3 einbezogen werden. Der Rest von Fe_2O_3 ergibt Eisenoxydhydrat. Hierbei ist das Verhältnis $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{H}_2\text{O}$ genau 1:1.

Der Rest der Kieselsäure ergibt den Quarzgehalt.

Mikroskopisch ließen sich Albit und Kalkspat nicht nachweisen. Sie beteiligen sich offenbar an der Zusammensetzung der feinsten Korngrößen.

Eine Röntgenaufnahme (Eisenstrahlung), die wir der Freundlichkeit von Herrn Prof. Correns in Göttingen verdanken, ergab folgende Å-Werte: (10,25 und?). 7,02 st. 4,37 st. 4,16 st. 3,59 st. 3,38 st. 2,71 m. 2,52 st. 2,32 st. 2,21 s. 1,99 m.-s. 1,82 m. 1,69 m.-st. 1,65 m.-st. 1,54 m.-s. 1,49 st. 1,45m. 1,31 m.-s. 1,28 m.-s. 1,23 m.-s.

Demnach ist vorherrschend Kaolin vorhanden.

Therapeutische Wirkung: Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen nun auch eine Beantwortung der Frage nach der therapeutischen Wirkung der Sächsischen Wundererde zu. Durch verdünnte Salzsäure wird zwar wenig gelöst; aber diese geringen Mengen können doch therapeutisch wichtig sein, besonders, wenn stark mit Manganoxydhydraten durchsetztes Material verwendet wird. Mangan ist ja neben Eisen für die Blutbildung unentbehrlich.

In erster Linie beruht jedoch die therapeutische Wirkung auf dem Adsorptionsvermögen des Kaolins. Allerdings steht dieses weit hinter dem des Montmorillonits zurück, der in verschiedenen, heute bevorzugten Erden vorhanden ist. Spurenelemente, die z. B. im Löß [3] eine große Rolle spielen, und die auch von den Verdauungssäften in Lösung gebracht werden, sind hier ohne Bedeutung.

Ergebnisse: Eine Probe des einst als Sächsische Wundererde berühmten Eisensteinmarks wurde chemisch und mikroskopisch untersucht. Sie besteht im wesentlichen aus Kaolin (65%), Limonit (13%) und Quarz (8%). Auch etwas Glimmer ließ sich nachweisen. Aus der chemischen Analyse wurden außerdem Karbonate der Erdalkalien, Albit und Rutil berechnet.

Andere Proben zeigten ein stark wachsendes Mengenverhältnis dieser Mineralien. Bei den fast rein weiß gefärbten war Eisenoxydhydrat kaum noch vorhanden.

¹⁾ Beim Versuch, alles Alkali als Glimmer zu verrechnen, ergab sich ein Fehlbetrag von etwa 3% Tonerde. Da aber nach Kontrollbestimmungen der Al_2O_3 -Wert stimmt, dürfte die oben durchgeführte Rechnung richtig sein.

Schrifttum.

1. Erläuterungen z. geol. Karte von Sachsen, Blatt 124, Section Planitz-Ebersbrunn, Leipzig 1885. — 2. Gutbier, A. von, Geognostische Beschreibung des Zwickauer Schwarzkohlengebirges. Zwickau 1834 (mit Karte und Profilen). — 3. Jung, H., Untersuchungen über ein Lößvorkommen bei Derenburg a. Harz. Chemie der Erde 15, 66—166 (1943). — 4. Schüler, D., Chemische Untersuchungen des Eisensteinmarks von Planitz bei Zwickau. Freiesleben, Oryktographie, H. 5, 209 (1831).

Jena, Mineralogisches Institut
der Friedrich-Schiller-Universität,
im Dezember 1943.

Über die Lumineszenz des Cerussits.¹⁾

Von

L. Tokody, in Budapest.

Über die Lumineszenz des Cerussits (PbCO_3) haben wir verhältnismäßig wenig Daten und selbst diese wenigen decken sich nicht vollkommen.

Nach G. F. Kunz und Ch. Baskerville²⁾ fluoresziert der Cerussit nicht; nur an Kristallen eines Vorkommens: an den Kristallen von Phoenixville trat Lumineszenz auf.

A. Pochettino³⁾ beobachtete an Cerussiten verschiedener Fundorte gelbliche und hellgrünlichblaue Lumineszenzerscheinungen.

W. L. Brown⁴⁾ untersuchte die Cerussitkristalle von drei Fundorten. Er stellte an den hellgelben Kristallen von Nertschinsk so wie an farblosen Kristallen von North Star Mine, B. C. und Brocken Hill (Rhodesia) hellgelbe Lumineszenz und außerdem an den Kristallen von Nertschinsk weiße Phosphoreszenz fest.

H. und K. Krejci-Graf⁵⁾ nahmen an Cerussitkristallen nicht angegebener Fundorte starke, gelbe Fluoreszenz wahr. Dieselben beobachteten auch schwache, violette Fluoreszenz, konnten aber nicht anstandslos feststellen, ob diese Erscheinung nicht eine Folge der Reflexion der UV.-Lampe war.

M. Haitinger⁶⁾ untersuchte künstliche Schering-Kahlbaum-Präparate. Der normale PbCO_3 fluoreszierte in sandgelber, der basische PbCO_3 in gelber Farbe.

¹⁾ Vorgelegt in der Sitzung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften vom 15. Februar 1943.

²⁾ G. F. Kunz and Ch. Baskerville, The action of radium, röntgen rays and ultra-violet light on minerals. Chem. News. 89, 4 (1904).

³⁾ A. Pochettino, Über Lumineszenzerscheinungen in Krystallen. Z. Krist. 51, 113—131 (1913).

⁴⁾ W. L. Brown, Photo-phosphorescence in minerals. Univ. of Toronto Studies. Geol. Ser. 35. Contr. to Canad. Min. 19—35, 1933.

W. L. Brown, Luminescence in minerals. Univ. of Toronto Studies. Geol. Ser. 40. Contr. to Canad. Min. 1936—1937, 155—156.

⁵⁾ H. und K. Krejci-Graf, Fluoreszenzfarben von Mineralien. Z. Krist. 88, 260—264 (1934).

⁶⁾ M. Haitinger, Die Fluoreszenzanalyse in der Mikrochemie. Wien-Leipzig, 1937, 75.

Die bisher eingeführten Daten — mit Ausnahme der Mitteilung von W. L. Brown — wurden von J. A. Radley und J. Grant¹⁾, ferner von P. W. Dankwort²⁾ übernommen.

Eine vergleichende Untersuchung der Lumineszenz des Cerussits an dem reichen, von ungarischen Fundorten stammenden Material, verließ erfolgreich zu sein, da wir nicht nur seine morphologischen sowie strukturellen Eigenschaften ausführlich kennen³⁾, sondern auch die chemische Zusammensetzung der Kristalle einiger Fundorte⁴⁾.

Ich habe 274 Cerussit-Kristalle von insgesamt 24 ungarischen Vorkommen untersucht, ergänzt durch einige afrikanische Kristalle.

Die Farbe der untersuchten Kristalle ist verschieden: farblos, weiß, gelb, gelblichbraun, graubraun, nelkenbraun, grau, rauchgrau und schwarz. Ihr Durchsichtigkeitsgrad ist ebenfalls verschieden: durchsichtig, durchscheinend, undurchsichtig. Sie haben keine einheitliche chemische Zusammensetzung.

Auf die morphologischen Eigenschaften der vom Gesichtspunkte der Lumineszenz untersuchten Kristalle, auf die Begleitminerale, auf die Umstände ihres Vorkommens und auf ihre strukturellen Eigenschaften, sowie auf die hieraus gezogenen Folgerungen beabsichtige ich hier nicht einzugehen, da ich sie in meinen früheren Mitteilungen dargelegt habe.

Zur Untersuchung der Lumineszenz der Cerussite benützte ich zwei Tungsram-Argonlampen mit Reihen-(Spannungs)Schaltung, eine auch sichtbares Violett emittierende Tungsram Hg 300—75 W und eine filtrierte Ultraviolett strahlende Tungsramlampe. Über die Strahlung der beiden letzten Lampen wurden mir vom Herrn Z. Bay, Professor an der technischen Hochschule zu Budapest, gütigst die folgenden Daten mitgeteilt:

"Die Lampe Hg 300—75 W emittiert die folgenden Spektrallinien:

3650 — 63 Å	4916 Å
4047 — 78 Å	5461 Å
4358 Å	5770 — 90 Å

¹⁾ J. A. Radley and J. Grant, Fluorescence-analysis in ultraviolet light, London, 1939, 207.

²⁾ P. W. Dankwort, Lumineszenz-Analyse. Leipzig, 1940, 84. — E. Engelhardt, Lumineszenzerscheinungen der Mineralien im ultravioletten Licht. Inaug.-Diss. Jena, 1912. Ref. Neues Jahrb. f. Min. II, 358, 1913.

³⁾ L. Tokody, Kristallographische Monographie der ungarischen Cerussite. Z. Krist. 63, 385—456 (1926). — Derselbe, Neues Vorkommen des Anglesits, Cerussits und Wulfenits in Ungarn. Föld. Közl. (Z. d. Ung. Geol. Ges.) 64, 341—347 (1934). — Derselbe, Cerussit von Felsőbánya und Almásbánya. Z. Krist. 96, 325—328 (1937). — Derselbe, Struktur und Morphologie des Cerussits. Math. és Term. Tud. Ért. 60, 163—190 (1941). — Gy. Kertai, Neue Minerale aus der Oxydationszone von Rudabánya. Föld. Közl. (Z. d. Ung. Geol. Ges.) 65, 26—28 (1935).

⁴⁾ G. Vavrinecz, Chemische Zusammensetzung einiger ungarischer Cerussite. Z. Krist. 89, 521—525 (1934).

Das sind die kräftigeren Linien; die anderen, aus der Aufzählung fehlenden, sind ganz schwach, so, daß ihre Angabe bei der Bewertung der Experimente keine Rolle spielt. Am kräftigsten ist die grüne Linie 5461 Å. Es muß noch erwähnt werden, daß außer diesen Linien auch noch ein Kontinuum zugegen ist, das im Grünen am kräftigsten ist.

Das verwendete Dunkelglas enthält Nickeloxyd-Kobaltoxyd. Dieses Glas läßt die UV.-Strahlung — zumindestens die der längeren Wellenlänge — ziemlich gut durch; sein Rohmaterial enthält Eisen. Seine Absorption ist derzufolge größer, als wenn es aus reinem, eisenfreien Sand erzeugt wäre. Kurzwelliges Ultraviolett wird von diesem Glas absorbiert.“

Auf Grund dieser Daten mußte wegen der grünen Strahlung der Lampe Hg 300—75 W mit besonderer Sorgfalt darauf geachtet werden, die wirkliche Lumineszenz festzustellen, da das reflektierte — zuweilen sehr starke — Licht irreführen vermag. Die bei dieser Lampe verwendeten Lifilter (Nr. 215, 395, 370, 391 und Nr. 15, 58, 126) riefen keine Änderung hervor.

Die aus Nickeloxyd-Kobaltoxyd enthaltendem Glas erzeugte Lampe liefert das zur Lumineszenz-Untersuchungen notwendige Ultraviolett 4000—3000 Å, obwohl sie auch Strahlen des sichtbaren Violetts durchläßt.

Ich hielt es für notwendig, die Daten der Lampen ausführlicher mitzuteilen, da die Lumineszenz im Verlauf der Experimente, die an demselben Material mit Lampen verschiedenen Fabrikats angestellt worden, nicht immer in dem gleichen Farbton und mit der gleichen Intensität auftrat.

An den Kristallen — mit der einzigen Ausnahme des schwarzen Kristalls von Dognácska — kann ein zonarer Aufbau weder mit unbewaffnetem Auge noch unter der Lupe festgestellt und auch in ultravioletterm Licht nicht beobachtet werden.

Im filtrierte ultravioletten Licht leuchteten die Kristalle einiger Fundorte in schwefelgelber, andere in blaßvioletter Farbe, und beide Farben treten in verschiedener Intensität auf. In unfiltrierter UV.-Strahlung war die Leuchtfarbe grünlichgelb. In der Strahlung der Argon-Lampen leuchtete kein einziger Kristall. Ein Teil der Kristalle leuchtete auch im filtrierte Licht nicht.

Von dem morphologisch untersuchten Fundorten habe ich die Lumineszenz der Kristalle der unten folgenden Vorkommen herangezogen. Es erscheint mir zweckmäßig, sie ausführlicher zu besprechen, denn hieraus geht hervor, wie verschieden sich der Cerussit um UV.-Licht verhält. Bei jedem Fundort berichte ich zuerst über die Lumineszenz in unfiltrierter, dann über die in filtrierter UV.-Strahlung.

Almásbánya (Komitat Arad). Seine fünf rötlichbraunen Kristalle leuchteten in grünlichgelber Farbe, die sehr gut zu beobachten waren. In filtrierte UV.-Licht war die Leuchtfarbe mildgelb, ein wenig blaßviolett.

Bocskó (Komitat Máramaros). Ein blaßgrüner, durchscheinender Kristall zeichnete sich durch starke, grünlichgelbe Lumineszenz aus, deren Intensität dem der Lumineszenz des am stärksten leuchtenden

Dognácskaer Cerussit gleich war. In filtriertem Ultraviolett zeigte sich starke, schwefelgelbe Lumineszenz.

Borsabánya (Komitat Máramaros). Ein farbloser, durchsichtiger, ein gelblichweißer und ein graubrauner undurchsichtiger Kristall zeigte in der Strahlung der Lampe Hg 300—75 W keine Veränderung. In filtrierter ultravioletter Strahlung leuchtete der farblose und der gelblichweiße Kristall in einem sehr milden Gelb, während der graubraune Kristall nicht leuchtete.

Brusztur s. Somróújfalu.

Dognácska (Komitat Krassó-Szörény). Von seinem Cerussiten untersuchte ich 72 Kristalle; sie verhielten sich verschieden.

In unfiltriertem Licht leuchteten die farblosen Kristalle nicht. Die schwarzen, undurchsichtigen Kristalle — die fein verteilten Galenit in sich schließen — leuchteten nicht und veränderten auch ihre Undurchsichtigkeit nicht. Unter diesen Kristallen befinden sich pseudo-hexagonale Zwillinge, deren schwarzer Kern von einer durchscheinenden gräulichen Hülle umgeben war; diese leuchteten ebenfalls nicht. Die silberweißen, die fast farblosen, undurchsichtigen, sowie die grauen, undurchsichtigen bis durchscheinenden Kristalle leuchteten nicht. Dagegen war an den gelblichweißen, weißlichgelben, weingelben und gelblichbraunen Kristallen lebhafte Lumineszenz zu beobachten. Die gelblichweißen und weißlichgelben Kristalle sind durchscheinend, die weißgelben und gelblichbraunen durchsichtig. Die weingelben Kristalle sind besonders hervorzuheben; ihre Leuchtfarbe nähert sich dem Apfelgrün, und hinsichtlich der Intensität stehen sie an zweiter Stelle; die erste Stelle kommt den Kristallen von Pelsőcardó zu.

In filtriertem UV.-Licht leuchtete der eine Teil der Kristalle in schwefelgelber oder blaßvioletter Farbe, der andere leuchtete nicht. An den farblosen Kristallen zeigte sich schwache blaßviolette Lumineszenz. Die grauen Kristalle verhielten sich ebenso. Die schwarzen Kristalle leuchteten auch in filtrierter Strahlung nicht. Die gelblichweißen, gelblichbraunen und weingelben Kristalle leuchteten schwefelgelb. Ein Teil der gelblichweißen Kristalle indes leuchtete überhaupt nicht, obwohl dieselben Kristalle in unfiltriertem Licht lebhaft grünlichgelb leuchteten. Die Leuchtfarbe der gelblichbraunen Kristalle ist schwefelgelb.

Felsőbánya (Komitat Szatmár). Von drei weißen Kristallen ist einer undurchsichtig, zwei sind durchscheinend. Alle drei Kristalle leuchteten grünlichgelb. Ein bräunlicher, undurchsichtiger Kristall lumineszierte in blasser, doch noch gut bemerklicher grünlichgelber Farbe. Dieselben Kristalle leuchteten in filtrierter Strahlung, entweder gar nicht, oder bloß in einem äußerst schwachen blaßveilchenblau.

Jaraba (Komitat Zólyom). Seine Cerussit-Kristalle sind weiß, gelblichbraun und farblos. Der weiße — fast farblose — und die gelblichbraunen durchscheinenden Kristalle leuchteten grünlichgelb, und ihre Durchsichtigkeit steigerte sich. Die farblosen Kristalle lumineszierten nicht. In filtrierte ultraviolette Licht leuchteten die Kristalle ohne Ausnahme in lebhafter schwefelgelber Farbe, die kräftiger war, als bei den Kristallen von Dognácska.

Kismuncsel (Komitat Hunyad). Seine gelblichweißen, rotbraunen und farblosen Kristalle leuchteten blaßgelblichgrün. Unter Einwirkung filtrierter ultravioletter Strahlung lumineszierten sie in derselben schwefelgelben Farbe wie die Kristalle von Dognácska.

Nagyág (Komitat Hunyad). Seine farblosen und weißen, durchscheinenden, fast durchsichtigen Kristalle leuchteten nicht, aber ihre Durchsichtigkeit nahm zu. In filtrierte UV.-Licht strahlten diese Kristalle helles Blau.

Óradna (Komitat Beszterce-Naszód). Die Farbe seiner Cerussitkristalle ist mannigfaltig: farblos, rauchgrau, gelblich, gelblichbraun, nelkenbraun, schwärzlichbraun. Von den gefärbten Kristallen sind die rauchgrauen bis nelkenbraunen durchscheinend, die schwärzlichbraunen undurchsichtig.

Die Lumineszenz wechselte je nach der Farbe der Kristalle. Die farblosen und rauchgrauen Kristalle lumineszierten im allgemeinen nicht, aber sieben farblose Zwillingskristalle leuchteten in gut beobachteter, nicht durch Reflexion hervorgerufener, grünlichgelber Farbe. Ähnlich trat an vier hellgrauen, beziehungsweise weißlichgrauen Kristallen schwache, nicht von Reflexion herrührende grünlichgelbe Lumineszenz auf. Die Kristalle in verschiedenen Abstufungen des Braun leuchteten ohne Ausnahme in kräftiger, grünlichgelber Farbe; zuweilen wurde die grünlichgelbe Leuchtfarbe durch die dunklere braune Farbe der Kristalle geändert. Die Lumineszenz der grauschwarzen Kristalle ist blaßgrünlichgelb. Die schwarzen Kristalle leuchteten nicht. Die Durchsichtigkeit nahm im allgemeinen zu, auch bei den nichtleuchtenden Kristallen.

In filtrierte UV.-Licht ist die Lumineszenz der Cerussitkristalle Óradna schwach. Die meisten Kristalle lumineszierten nicht. Die Kristalle in den verschiedenen Abstufungen des Rotbraun leuchteten überhaupt nicht; ebenso verhielten sich die weißlichgrauen, grauschwarzen, schwarzen und einige farblose Kristalle. Trat in filtrierte Licht Lumineszenz auf, so erschien sie in äußerst schwacher, weißlichblaßvioletter Farbe, und war unabhängig von der Farbe des Cerussits: sie zeigte sich an farblosen weißen, weißlichgrauen und mildbraunen Kristallen.

Pelsőcardó (Komitat Gömör). Seine farblosen, bräunlich-grauen und rotbraunen Kristalle sind durchsichtig, durchscheinend oder undurchsichtig. In unfiltriertem UV.-Licht leuchteten die farblosen Kristalle nicht. Die Leuchtfarbe der gefärbten Kristalle war ein äußerst blaßes Grünlichgelb und wurde wahrscheinlich durch Reflexion angeregt. Die Durchsichtigkeit nahm zu. In filtriertem UV.-Licht lumineszierten sämtliche Kristalle mit leuchtender und sehr kräftiger schwefelgelber Farbe. Von den Cerussitkristallen der untersuchten ungarischen Fundorte leuchteten die von Pelsőcardó am kräftigsten; die Lumineszenz war in 3 m Abstand von der Lampe noch gut bemerkbar.

Pila (=Zsarnóca, Komitat Bars). Ein farbloser Cerussitkristall leuchtete weder in unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht.

Pojnik (Komitat Zólyom). Ein gelblichweißer undurchsichtiger Kristall leuchtete in schwacher grünlichgelber, beziehungsweise bei filtriertem Licht in blaßschwefelgelber Farbe.

Rézbánya (Komitat Bihar). Die Farbe seiner Cerussitkristalle ist verschieden: farblos, weiß, rauchgrau, gelblichbraun, rotbraun und die verschiedenen Abstufungen des Rotbraun. Ihre Durchsichtigkeit ist ebenfalls verschieden. Die Kristalle verhalten sich in UV.-Licht nicht unterschiedslos, selbst zwischen Kristallen mit gleicher Farbe und gleicher Durchsichtigkeit können Abweichungen festgestellt werden.

In unfiltriertem Licht leuchteten 28 farblose Kristalle nicht, an einem Kristall trat aber sehr schwache, an zweien gute grünlichgelbe Lumineszenz auf. An den weißen und grauen Kristallen zeigte im besten Fall sehr blaße Lumineszenz. Die rauchgrauen Kristalle leuchteten überhaupt nicht, nur ein einziger Kristall lumineszierte grünlichgelb. Die Durchsichtigkeit der rauchgrauen Kristalle steigerte sich; der eine undurchsichtige Kristall erschien farblos. An einem gelblich-braunen Kristall trat bloß sehr schwach Lumineszenz auf, der Kristall aber erschien farblos. Die braunen Kristalle leuchteten ohne Ausnahme; die Leuchtfarbe änderte sich von gelblichgrün bis apfelgrün, und ihre Intensität war verschieden. Bei den rotbraunen Kristallen von Rézbánya wurde die Leuchtfarbe tiefer — wie bei den Kristallen von Óradna — außerdem aber erschienen sowohl die gelblichgrüne, als auch die apfelgrün leuchtenden Kristalle durchsichtig. Die bräunlich-schwarzen Kristalle lumineszierten nicht, ihre Durchsichtigkeit aber nahm zu.

In filtrierter UV.-Strahlung lumineszierte der größte Teil der Kristalle nicht und zwar ohne Rücksicht auf ihre Farbe, einzige farblose, weiße, gelblichweiße und rotbraune Kristalle hinwieder leuchteten in kaum bemerkbarer, äußerst schwacher weißlichbläuvioletter Farbe.

Ruszkabánya (Komitat Krassó-Szörény). Seine Cerussitkristalle sind grau, grauweiß, gelblichweiß, es gibt aber auch farblose unter ihnen. Die farbigen sind durchscheinend bis undurchsichtig. Diese Kristalle leuchteten in unfiltriertem UV.-Lichte nicht; ihre Durchsichtigkeit änderte sich nicht. Filtrierte UV.-Strahlung regte — ohne Rücksicht auf die Farbe der Kristalle — schwache blaßviolette Lumineszenz an, und drei grauweiße Kristalle leuchteten in lebhafter schwefelgelber Farbe.

Selmecbánya (Komitat Hont). Ein bräunlichgrauer, durchsichtiger Cerussit-Zwillingskristall leuchtete weder in unfiltriertem noch in filtriertem UV.-Licht.

Somróujfalu (=Brusztur, Komitat Szilágy). Seine blaßgelben, durchscheinenden Kristalle leuchteten in unfiltriertem Licht mit grünlichgelber Farbe und mit der gleichen Intensität wie die Kristalle von Dognácska, in filtriertem UV.-Licht dagegen lumineszierten sie nicht.

Szászkabánya (Komitat Krassó-Szörény). Die Farbe seiner untersuchten Cerussitkristalle ist grauweiß; sie sind durchsichtig, durchscheinend und undurchsichtig. Diese Kristalle leuchteten in unfiltriertem UV.-Licht nicht, in filtriertem Licht dagegen verhielten sie sich verschieden. Ein weißlichgrauer, fast farbloser Kristall leuchtete nicht, mehrere Kristalle von derselben Farbe hinwieder lumineszierten in schwacher blaßvioletter Farbe, und an vier ebenfalls grauweißen Kristallen trat lebhaftgelbe — mit der Strahlung der Kristalle von Dognácska nahezu völlig gleiche — Lumineszenz auf. Die Durchsichtigkeit der Kristalle änderte sich nicht.

Die farblosen, weißen, gelblichweißen und schwarzen Cerussitkristalle von Tarkaica (Komitat Bihar), die farblosen und weißen von Ujsinka (Komitat Fogaras), die schwarzen von Vaskő (Komitat Krassó-Szörény) leuchteten weder im unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht; ihre Durchsichtigkeit erfuhr keine Veränderung.

Auf Grund der Lumineszenzuntersuchung der Cerussitkristalle der erforschten ungarischen Fundorte kann festgestellt werden, daß sich selbst Kristalle von demselben Vorkommen nicht einheitlich verhielten; einige Kristalle leuchteten, andere nicht. Es wäre zu erwarten, daß die farbigen Kristalle lumineszieren, die farblosen hingegen nicht, doch dies war nicht immer der Fall, oft war ihr Verhalten gerade umgekehrt. Aus der Farbe und Durchsichtigkeit der Cerussitkristalle kann man auf ihre Lumineszenz nicht folgen.

Die Kristalle verhalten sich in filtrierter und unfiltrierter Strahlung verschieden. Die Kristalle einiger Fundorte leuchteten in unfiltriertem Licht, in filtriertem dagegen nicht, und umgekehrt.

Nachleuchten (Phosphoreszenz) konnte an keinem Kristall beobachtet werden. Ich habe die Lumineszenz der Cerussitkristalle der

ungarischen Fundorte mit dem Material zweier ausländischer Vorkommen verglichen.

Die blaßrosafarbigten, undurchsichtigen Cerussitkristalle des afrikanischen Broken Hill (Nord-Rhodesia) leuchteten weder im unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht.

Von den Cerussitkristallen des südwestafrikanischen Tsumeb (Otavi) untersuchte ich farblose, graue und weingelbe Kristalle. Die farblosen Kristalle lumineszierten weder im unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht. Nach H. Dübigk¹⁾ gleichen diese Kristalle in ihrer Zusammensetzung nahezu dem reinen Bleikarbonat (83,27 PbO, 16,64 CO₂, 0,24 unlösbar, Σ 100,15). Von den farbigen Kristallen haben wir keine Analyse. Die grauen und die weingelben Kristalle leuchteten in unfiltriertem UV.-Licht mit kräftiger grünlichgelber Farbe. In filtrierter Strahlung lumineszierten die grauen und ein Teil der weingelben Kristalle nicht, der andere Teil der weingelben Kristalle hinwieder leuchtete in sehr lebhafter schwefelgelber Farbe. Demnach treten die an den ungarischen Kristallen beobachteten Erscheinungen auch an den Kristallen von Tsumeb auf.

Aus der bisherigen Darlegung geht hervor, daß der größte Teil der lumineszierenden Kristalle gefärbt ist; die Färbung rührt von einem Fremdstoff her. Doch auch die farblosen Kristalle sind chemisch nicht ganz rein, in ihnen kommt ebenfalls ein Fremdstoff vor, wie es die Analysen erwiesen haben, und deshalb leuchtete auch ein Teil der farblosen Kristalle.

Enthält der Cerussit keinen Fremdstoff, so luminesziert er nicht. Den Beweis lieferten die von mir untersuchten künstlichen Bleikarbonatkristalle. Die Kristalle der normalen PbCO₃ wurden vom Herrn Professor E. Schulek, Direktor des Ungarischen Staatlichen Hygienischen Instituts hergestellt; für seine freundlichen Bemühungen spreche ich ihm auch hier meinen verbindlichen Dank aus. Die Kristalle des normalen Bleikarbonats leuchteten weder im unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht, was ein unbestreitbarer Beweis für die Lumineszenz anregende Wirkung des im Gitter gelagerten Fremdstoffes ist.

Der Cerussit PbCO₃ allein leuchtet nicht. Seine Lumineszenz wird durch Fremdatome, durch Aktivatoren verursacht, die sich im Kristallgitter lagern. Und es müssen mindestens zweierlei Aktivatoren wirken: der eine regt die schwefelgelbe, der andere die blaßveilchenblaue Lumineszenz an. Diese Feststellung wird auch durch die Untersuchung der Kristalle aus Tsumeb bekräftigt, und durch das Verhalten des künstlichen Bleikarbonats schlagend bewiesen.

Das Ziel der weiteren Untersuchungen war, die Rolle des Aktivators und die Art und Weise seiner Lagerung im Gitter zu klären. Ich

¹⁾ H. Dübigk, Über das Weißbleierz von Otavi bei Tsumeb in Deutsch-Südwestafrika. Neues Jahrb. f. Min., Beil., 36, (1913) 1, 214—246.

untersuchte hierzu Cerussitkristallpulver von verschiedener Korngröße, beobachtete das Verhalten der Kristalle und der aus ihnen bereiteten Pulver während und nach ihrem Glühen; studierte Lösungen verschiedener Konzentration, nahm Kapillaranalysen und Perlanalysen vor, war endlich bemüht die Wirkung der radioaktiven Strahlung zu ermitteln.

Die lumineszierenden und nicht lumineszierenden Cerussitkristalle wurden von mir in verschiedener Korngröße zerpulvert. Die Kristallpulver leuchteten weder im unfiltrierten noch im filtrierten UV.-Licht, und zwar unabhängig von ihrer Korngröße. Selbst das sehr feine Pulver des künstlichen Bleikarbonats leuchtete nicht.

Nach dem Glühen der Kristalle hörte die Lumineszenz auf, Phosphoreszenz trat nicht auf. Die Kristallpulver leuchteten auch nach ihrem Glühen nicht.

Vor Zubereitung der Lösung überzeugte ich mich davon, daß das Lösungsmittel in den Glasgefäßen nicht lumineszierten. Als Lösungsmittel wurde $2nHNO_3$ benutzt. Ich bereitete Lösungen mit verschiedener Sättigung. Diese Lösungen untersuchte ich in durchfallendem und in auffallendem Licht auf Uhrglas, im Probierglas und in Tropfenform. Die Lösung der untersuchten ungarischen und afrikanischen Cerussite lumineszierte nicht. Es lumineszierte auch die Lösung des künstlichen Bleikarbonats und das aus der Lösung ausgeschieden $Pb(NO_3)_2$ nicht. Zur Kontrolle untersuchte ich die Kristalle der künstlichen $Pb(NO_3)_2$; diese leuchteten in filtriertem UV.-Licht blaßveilchenblau, während ihr Pulver verschiedener Korngröße, ferner ihre wässerige und ihre alkoholische Lösung nicht lumineszierten. Alle diese Untersuchungen führte ich bei möglichst gleicher Temperatur aus.

Die Kapillaranalysen nahm ich sowohl an den leuchtenden als auch an den nicht leuchtenden ungarischen und afrikanischen Cerussiten, ferner am künstlichen Bleikarbonat vor.

Im Verlauf der Kapillaranalyse leuchtete keiner der ungarischen und der afrikanischen Cerussite, weder im unfiltrierter noch im filtrier-

Die Lösungen wurden wieder mit $2nHNO_3$ in verschiedener Konzentration zubereitet. Als Filtrierpapier diente im kleinerem Teil meiner Untersuchungen Schleier Schüll 589¹, in ihrem größeren Teil das zu analytischen Zwecken erzeugte Papier 598 desselben Fabrikats. Die Papiere leuchteten nicht. Bei Untersuchungen mit Wasser und mit Alkohol erschien auf Papier 589¹ an der Ansaugungsgrenze in UV.-Licht ein blaßer, auf Papier 598 ein noch blässer gelber, leuchtender Streifen; diese Streifen konnte man nach wenig Übung selbst in gewöhnlichem Licht wahrnehmen. Als ich aber die Untersuchungen auf Papier 589¹, das vorher 12 Tage in destilliertes Wasser eingetaucht und dann getrocknet wurde, mit destilliertem Wasser wiederholte, erschien der gelbe Streifen nicht mehr. Zu den weiteren Untersuchungen gebrauchte ich das auf diese Weise behandelte Papier. Bei Gebrauch der Kapillaranalytischen Zwecken dienenden Papiers 589 unterblieb die Tränkung mit destilliertem Wasser. Die Aufsaugung der Lösungen erfolgte in der üblichen Weise.

ter UV.-Strahlung, es erschien höchstens an der Ansaugungsgrenze in filtriertem UV.-Licht auf Papier 589¹ ein sehr blaßgelber, auf Papier 598 aber ein sehr blaßvioletter Streifen. Das künstliche Bleikarbonat verhielt sich ebenso.

Zur Kontrolle untersuchte ich die wässrige und die alkoholische Lösung des $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ in verschiedener Konzentration. Diese Lösungen leuchteten gleichfalls nicht. Die wässrige Lösung des $\text{UO}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ und des $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hingegen lumineszierten anlässlich in Kapillaranalyse in lebhaftgrüner Farbe.

Für die Perlanalyse bereitete ich die Perlen aus Borax, Phosphorsalz und Natriumfluorid. Die Perlen der Chemikalien zur Analyse lumineszierten nicht.

Nach Hinzufügung von Uransalz lumineszierten wohl die Natriumfluoridperlen, die Borax- und Phosphorsalzperlen indes nicht. Die in die Perlen aufgenommenen leuchtenden Cerussite aus Ungarn und Tsumeb lumineszierten in filtriertem UV.-Licht nicht.

Endlich untersuchte ich das Verhalten der lumineszierenden und nicht lumineszierenden Cerussite gegen die β -Strahlen. Die Radiumpräparate RaE. ($\alpha = 0,5''$, $\beta = 45''$) und Po ($\alpha = \infty$ klein, $\beta = 400''$) wurden mir vom Herrn Professor L. Imre freundlichst zur Verfügung gestellt, wofür ich ihm auch hier meinen aufrichtigen Dank ausspreche. Das Verhalten von 14 ungarischen und eines der am besten leuchtenden Cerussitkristalle aus Tsumeb untersuchte ich im Dunkelzimmer unter einem binokularen Mikroskop in 27facher Vergrößerung. Ich konnte an den Kristallen keinerlei Veränderung wahrnehmen.

Die beschriebenen Untersuchungen (Kristallpulver, Erhitzung, Lösungen, Kapillaranalyse, Perlanalysen, Ra-Strahlung) beweisen, daß das chemisch reine Bleikarbonat nicht luminesziert. Die Lumineszenz der Cerussite wird von Fremdatomen, von Aktivatoren verursacht. Die Lagerung der Aktivatoren im Kristallgitter ist keine regelmäßige, sie ersetzen nicht die Bestandteile des Cerussits — vor allem das Blei —, sondern lagern sich in den Lockerstellen, und ihre Wirkung hört nach Zerstörung des Kristallgitters auf.

Zusammenfassung.

Über die Lumineszenz des Cerussits gibt es nur einige Daten und diese sind nicht eindeutig. Aus diesem Grund schien die Bearbeitung eines größeren Untersuchungsmaterials erfolgreich zu sein. Zur Ausführung dieser Anforderung boten die günstige Gelegenheit die kristallmorphologisch, strukturell ausführlich untersuchten und von einigen Vorkommen chemisch analysierten ungarischen Cerussitkristalle. Es wurden deshalb die Lumineszenzerscheinungen der 274 Kristalle von 21 ungarischen Fundorten untersucht, ergänzt durch die Kristalle von

zwei afrikanischen Vorkommen, ebenso auch die des künstlichen, neutralen Bleikarbonates.

Aus den Untersuchungen ergibt sich, daß der Intensitätsgrad und der Farbton der Lumineszenz von der UV.-Lampe abhängig ist, bei Lampen verschiedenen Fabrikats sind sie verschieden.

Die Lumineszenzuntersuchungen wurden in unfiltriertem und filtriertem UV.-Lichte ausgeführt. Die Leuchtfarbe des Cerussits im unfiltriertem UV.-Lichte ist grünlichgelb bis apfelbgrün, in filtriertem UV.-Licht schwefelgelb und blaßveilchenblau.

Aus den Untersuchungen ist es ersichtlich, daß die Lumineszenz der ungarischen Cerussite nach den Fundorten sich ändert. Nicht sämtliche Kristalle der einzelnen Vorkommen lumineszierten, ja auch die Kristalle eines und desselben Fundortes verhalten sich verschieden, es gibt unter ihnen leuchtende und nichtleuchtende. Die Ergebnisse können in filtrierter und unfiltrierter UV.-Strahlung auch nach dem Fundort verschieden sein. Die Kristalle von einigen Fundorten leuchten in unfiltriertem UV.-Licht, in filtriertem Licht dagegen nicht und umgekehrt.

Die Farbe des Cerussits wechselt vom farblosen bis zum schwarzen mit Übergängen von verschiedenen Tönen des weiß, gelb und braun. Aus der Färbung der Kristalle läßt sich auf Lumineszenz nicht schließen. Auch die farblosen Kristalle lumineszieren, ein anderes Maß hingegen ist an gefärbten keine Lumineszenz wahrzunehmen.

Das Nachleuchten (Phosphoreszenz) konnte man in keinem einzigen Falle beobachten.

Das künstliche, chemisch reine Bleikarbonat leuchtet nicht, woraus gefolgert werden konnte, daß die Lumineszenz des in der Natur vorkommenden Cerussits durch Fremdatome, Aktivatoren, verursacht wird. Diese sind zweierlei Art: der eine bewirkt die schwefelgelbe, die andere die blaßveilchenblaue Lumineszenz. Die Rolle des Fremdstoffes in Kristallgitter wurde an Cerussitkristallpulver von verschiedener Körnergröße an erhitzten Kristallen und Lösungen, ferner mittels, Kapillaranalyse, Perlanalyse und radioaktiven Strahlungen untersucht.

Als Endergebnis konnte festgestellt werden, daß die Lumineszenz des Cerussits von eingeschlossenen Fremdatomen, Aktivatoren herührt, diese ersetzen in Gitterpunkten die Bestandteile — vor allem das Blei — nicht, sondern sie lagerten sich in den Lockerstellen, und ihre Wirkung hörte nach Zerstörung des Kristallgitters auf.

Ein neues Montmorillonitvorkommen.

Von

E. Dittler und U. Hofmann (Wien).

Mit 4 Abbildungen im Text.

Über Vorkommen von Bentonittonen im ungarischen und rumänischen Teile Siebenbürgens wurde schon mehrfach berichtet[14]. Ihr Auftreten steht mit der weiten Verbreitung tertiärer Ergußgesteine und Tuffmassen liparitischer, trachytischer und andesitischer Natur am Innenrand des Karpatenbogens in engem Zusammenhang.

Ein kleines Vorkommen dieser Art wurde im Sommer des Jahres 1943 von R. Grengg und A. Schmölzer in einem Nebentale der schnellen Körös unweit von Batatka (Bahnstrecke Großwardein—Klausenburg) festgestellt; eine nähere Beschreibung desselben erscheint an anderer Stelle.

Die Bentonittone erfüllen hier ein Spalten- und Höhlensystem innerhalb eines Stockes mitteltriadischer Kalke und wurden im Zuge des Abbaues dieser Kalke angeschnitten. Das Hauptvorkommen liegt innerhalb einer etwa 8 m über der Talsohle gelegenen unterirdischen Karsthöhle von etwa 5 m Breite. Durch Abteufen eines Schachtes wurde dieses Tonvorkommen auf etwa 8 m in die Tiefe verfolgt. Etwa 25 m südwestlich davon fand sich derselbe Ton als Ausfüllung einer etwa 1,2 m breiten Spalte; somit scheint der Gesamtumfang der Lagerstätte nur gering zu sein. Der Vorrat an Bentonit wurde vorläufig mit 100m³ veranschlagt. Doch besteht die Möglichkeit, beim Abbau des Kalkvorkommens weitere mit Ton erfüllte Höhlen und Kluftsysteme anzuschneiden.

Im Vorkommen sind zwei nach Aussehen und Dispersitätsgrad stark verschiedene Bentonite in schichtiger Wechsellagerung erschlossen:

1. Die Hauptmasse bildet ein hell-grünlichgrauer bis hellgelblichweißer, steinmarkähnlicher, stellenweise und vor allem in den tieferen Lagen des Vorkommens fleckenweise rotviolett durchfärbter, hochdispenser Ton. Er umschließt in den höheren Lagen zahlreiche, bis mehrere Zentimeter Durchmesser erreichende Kalkkonkretionen und greift nach oben zu in die durch Auslaugen erweiterten Kluft-

fugen des Kalkes ein. Nach der Tiefe zu verlieren sich die Kalkkonkretionen mehr oder weniger vollständig. Im folgenden sind diese beiden Tonvarietäten kurzweg als „grüner“ und „roter Bentonit“ bezeichnet.

2. Als gering-mächtige Einlagerung ist ein hellgelblich bis fast rein weißer Montmorillonitton, von einer im frischen Zustand käsigen Beschaffenheit und nur geringer Schwindneigung vorhanden; er bildet in etwa 5 m Tiefe unter dem Kalkdach eine rund 40 cm mächtige, lagerförmige Einschaltung und ist auch unter dieser auf wenige Zentimeter Breite in wiederholt dünn-schichtiger Wechsellagerung (Schichtdicke oft nur wenige Millimeter) mit der grünen Varietät vorhanden. Makroskopisch und mikroskopisch möglichst homogene, rein weiße Proben dieses im folgenden als „weißer Bentonit“ bezeichneten Tones gelangten zur Untersuchung.

Die Lagerungsverhältnisse, insbesondere die beobachtete rhythmische Wechsellagerung von Schichten hoher Gleichmäßigkeit und das völlige Fehlen von Einsprenglingsmineralien scheinen darauf hinzuweisen, daß es sich hier um eine Ansammlung von Ausschlämmprodukten zersetzter Tuffe handelt, wobei nach dem Chemismus der Ablagerung auf eine Herkunft aus Tuffen dazitischer Natur zu schließen wäre. Solche sind im nördlichen Teil des Siebenbürgener Beckens, somit in nächster Nähe des Vorkommens, an der Basis der tortonischen Ablagerungen in großer Verbreitung nachgewiesen. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß diagenetische Veränderungen und Ausreifungsvorgänge innerhalb der Lagerstätte die Beschaffenheit der Ablagerung beeinflußt haben. Zunächst sei die Analyse des Hangendkalkes mitgeteilt:

Unlösliches	1,86 %
SiO ₃ (lösl.)	0,21 %
Al ₂ O ₃ }	0,60 %
Fe ₂ O ₃ }	
CaO	52,68 %
MgO	1,68 %
CO ₂	43,18 %
	<hr/> 100,21 %

Der Kalk besteht sonach aus 94,01 % CaCO₃ und 3,52 % MgCO₃ und enthält nur ganz geringe tonige Beimengungen.

Grüner Bentonit.

Der grüne Bentonit verhält sich beim Schneiden seifenartig weich, klebt an der Zunge, ist wachsglänzend, besitzt etwa die Härte des Talkes und verhält sich u. d. M. vollkommen homogen. Beim Erhitzen im Glasröhrchen verliert das Mineral Wasser und nimmt gleich-

zeitig an Härte zu; vor dem Lötrohr schmilzt das Mineral nicht, die scharfen Kanten der Bruchstücke bleiben erhalten und nur die Farbe verändert sich von grün zu braun.

Das spezifische Gewicht des Minerals war $d_{20} = 2,616^1$.

Die mikroskopische Untersuchung des durch leichtes Zerdrücken erhaltenen lufttrockenen Mineralpulvers ergab ein bienenwabenartig zusammengesetztes Aggregat zahlreicher kleinster und unregelmäßig begrenzter Blättchen, die sich bei weiterer Zerteilung in zahllose Körnchen und Leistchen von niedriger Doppelbrechung auflösen. Sie zeigen γ' in der Längsrichtung, sind nicht pleochroitisch und besitzen eine mittlere Lichtbrechung $n = 1,540$ bis $1,542^2$. Zum Vergleich diente ein Montmorillonit von Unterrupsroth (Rhön) mit einem Brechungsexponenten $n = 1,545$ nach F. Heide [1]. Fremde Beimengungen (Karbonate, Quarz, Kaolin usw.) waren mikroskopisch wenigstens nicht zu beobachten.

Das Mineral wird von verdünnter Schwefelsäure langsam zersetzt, wobei in erster Linie Eisen herausgelöst wird; im Filtrat ist aber auch Tonerde und Kieselerde nachzuweisen. Dieserart verhält sich das Mineral wie Kaolin. Die wässrige, filtrierte Aufschlammung des Bentonits reagiert nach mehrwöchentlichem Stehen schwach alkalisch (Universalindikator nach Merck): $p_H = 6.5-7$. Das zum Vergleich zur Digestion verwendete, etwas CO_3 -haltige destillierte Wasser hatte ein $p_H = 5$.

In destilliertem Wasser zerfällt das Mineral nicht, sondern wird unter schwacher Volumsvergrößerung plastisch, wobei es bei mehr Wasserzusatz zu einem bolartigen Brei erweicht.

Bis 110° verliert der 4 Wochen an der trockenen Luft gelagerte Bentonit 13,93 % Wasser, das sind fast 61 % seines Gesamtwassergehaltes (23,08 %); hiervon wird ein großer Teil schon bei Zimmertemperatur (etwa $20^\circ C$) und über konzentrierter Schwefelsäure abgegeben.

Bis 150° verliert das Mineral 15,56 % H_2O				
„	200°	„	„	15,88
„	300°	„	„	16,23
„	400°	„	„	18,16
„	450°	„	„	20,72
„	500°	„	„	21,16
„	600°	„	„	21,99

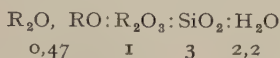
¹⁾ 3 g des Mineralpulvers wurden bis zur Einstellung des Gleichgewichts (siehe Enslinaufnahme S = 12) zunächst quellen gelassen, die erhaltene wässrige Suspension aufgeköcht und im Exsikkator evakuiert, hierauf in ein mit Thermometer versehenes Pyknometer gefüllt und gewogen. Das Pyknometer wurde entleert, der mineralische Inhalt nach dem Trocknen bei 110° zurückgewogen und nun das spezifische Gewicht des gequollenen Minerals errechnet.

²⁾ Nach der Einbettungsmethode in Benzol und α -Monobromnaphthalin. Beide Reagenzien werden von Montmorillonit nicht innerkristallin aufgenommen.

Das Mineral verliert also bis 400° nahezu 80% seines Wassergehaltes. Zwischen 400° und 600° entweichen weitere 3,83%, der Rest des Wassers tritt erst bei heller Rotglut aus. Das bei 110° getrocknete Mineral (kalkfreie Probe) hatte folgende chemische Zusammensetzung:

	%	Molzahlen · 10 ⁴		%	Molzahlen · 10 ⁴
H ₂ O (über 110°) . .	10,74	5962	MnO . . .	Spur	—
SiO ₂ . . .	49,31	8210	MgO . . .	0,14	35
TiO ₂ . . .	0,14	22	CaO . . .	6,56	1170
Al ₂ O ₃ . . .	26,76	2625	Na ₂ O } . .	0,54 ¹⁾	87
Fe ₂ O ₃ . . .	6,34	397	K ₂ O } . .		
		3044		100,53 ²⁾	1292

Das Molekularverhältnis, wenn für SiO₂=3 gesetzt wird, lautet demnach:



Das bei 110° abgegebene Wasser ist jedenfalls als adsorbiert anzusehen und daher nicht in die Formel verrechnet. Aus dem Molzahlenverhältnis würde man zunächst auf ein eisenarmes, nontronitartiges Mineral schließen, etwa auf eine isomorphe Mischung von der Formel (Al, Fe)₂O₃ · 3 SiO₂ · H₂O n H₂O³⁾ [3]. Dem steht aber der viel zu geringe Eisengehalt entgegen. Wenn man andererseits an ein montmorillonitartiges Mineral denkt, so könnte es sich etwa um Beidellit handeln, in dem ja ein Teil der Kieselsäure durch Tonerde ersetzt ist: Al₂(OH)₂[Al Si₃O₉(OH)] n H₂O. Hierzu kommt der beträchtliche Gehalt an CaO, welcher nach Cl. Ross und E. V. Shannon[5] für Beidellit geradezu charakteristisch ist. Hingegen fehlt Magnesium fast vollkommen.

Die Röntgenuntersuchung des Grünen Bentonits ergab die Interferenzen des Montmorillonits. Das Röntgenbild glich im wesentlichen dem des weißen Bentonits und ist dort näher beschrieben. Nur waren die neben dem Montmorillonit schwach sichtbaren Interferenzen von fein verteiltem Quarz etwas deutlicher und lassen einen Quarzgehalt

¹⁾ Auf Na₂O verrechnet.

²⁾ Wegen der großen Hygroskopizität wurde das lufttrockene Mineral zur Analyse verwendet und die gefundenen Zahlen auf die bei 110° getrocknete Substanz umgerechnet. Karbonate waren nur spurenweise vorhanden; SO₃ und P₂O₅ fehlten.

³⁾ Nach W. Noll kommt dem Nontronit nicht die dem Kaolin zustehende Formel zu, sondern das Molverhältnis Al₂O₃:SiO₂ wäre 1:3. Die Struktur des Nontronit ist nach U. Hofmann und Mitarbeitern sowie nach J. W. Gruner [9, 6] die des Montmorillonits.

von etwa 4% schätzen. Eine ganz schwache Interferenz bei 7,3 Å könnte auf einen Gehalt an Kaolinit hinweisen.

Die Bestimmung der basenbildenden, austauschfähigen Kationen (S-Wert) ergab 75 m val/100 g bei 105° getrocknetem Bentonit. In der Austauschlösung wurden 78 mval Ca- und 3 mval Mg-Ionen gefunden. Der Bentonit enthält also ganz überwiegend austauschfähige Ca-Ionen. Der niedere S-Wert könnte durch eine Beimengung von Kaolinit bewirkt sein.

Die experimentell erhaltenen Zahlen waren folgende:

	Grüne Probe		Grüne Probe
Einwaage	1,6165 g	Gewichtsverlust bei 105°	13,3 %
NH ₄ Cl in	20,0 ccm	2 g Bentonit mit 20 ccm	
Pipettenvolumen. . . .	1,976 „	NH ₄ Cl in geschüttelt	neutral
Titration m. NaOH n/20	37,65 „	S-Wert für den bei 105°	
Blindwert	39,91 „	getrockneten Bentonit	74,7 mval
Titration m. AgNO ₃ n/10	19,92 „	NH ₄ Cl-Angebot/100 g	1255 „
Blindwert	19,86 „	salzfreie Wasserhaut .	3,5 ccm
Auswaage an CaO . . .	0,0035 g	Ca in der Austauschlg.	78,2 mval
Auswaage an Mg ₂ P ₂ O ₇ .	0,0003 „	Mg in der Austauschlg.	3,4 „
1 ccm n/20 NaOH		CO ₂	0,15 %
= 0,0503 mval			

Roter Bentonit.

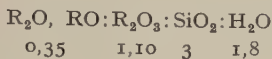
Im Anschluß an die Untersuchung des grünen Minerals, das die Hauptmasse des Vorkommens ausmacht, wurde auch jene oben erwähnte Varietät von hellkakaobrauner bis rötlichvioletter Farbe geprüft, die sich besonders im untersten Teil des grünen Tones vorfindet. Sie ist durchsetzt von zahlreichen, mehrere Millimeter großen Linsen des grünen Bentonit, von dem sie unter dem Binokular leicht getrennt werden kann. Physikalisch, und was die Entwässerung betrifft, verhält sich die rote Varietät ganz ähnlich dem grünen Material.

Zur chemischen Untersuchung wurden nur die rein roten Partien herangezogen. Der Gesamtwassergehalt war 21,29%, davon gehen bei 110° 13,07% H₂O weg. Die bei 110° getrocknete Substanz enthielt:

	%	Molzahlen · 10 ⁴		%	Molzahlen · 10 ⁴
H ₂ O ⁺ (über.			MnO . .	0,25	35
110°) . . .	9,43	5234	MgO . .	1,56	387
Si O ₂ . . .	51,12	8512	CaO . .	2,55	455
TiO ₂ . . .	0,25	31	Na ₂ O	0,77 ¹⁾	124
Al ₂ O ₃ . . .	28,31	2777	K ₂ O		
Fe ₂ O ₃ . . .	5,75	360		99,99	

¹⁾ Auf Na₂O berechnet. Karbonate waren nicht vorhanden.

Das aus den Molzahlen berechnete Verhältnis lautet:



ganz ähnlich der Zusammensetzung des grünen Minerals, nur mit beträchtlich niedrigerem Gehalt an CaO und etwas mehr MgO, TiO₂ und MnO, welch letztere Oxyde in Verbindung mit dem Fe₂O₃ vermutlich den so auffallenden Farbunterschied bedingen.

Die Röntgenuntersuchung gab in Übereinstimmung mit dem weißen Bentonit die Interferenzen des Montmorillonits und einer Beimengung von etwa 2% sehr fein verteiltem Quarz. Auch hier ließ eine sehr schwache Interferenz bei etwa 7,3 Å die Anwesenheit von Kaolinit möglich erscheinen.

Weißer Bentonit.

Als Einschluß und Ausfüllung von Hohlräumen findet sich in der grünen Bentonitmasse ein rein weißes, leicht zerreibbares, äußerlich meerschaumähnlich aussehendes Mineral von flachmuscheligen Bruch und geringer Härte; das Mineral läßt sich schon mit dem Fingernagel ritzen. Das Mineral verhält sich beim Schneiden mild, zeigt auf frischen Bruchflächen Wachsglanz, klebt an der Zunge, wobei es wie Zucker zu zerfließen beginnt und einen kreidigen Geschmack hinterläßt. Vor dem Lötrohr wird das Mineral rissig, die scharfen Kanten der Bruchstücke bleiben erhalten und ohne zu schmelzen, verändert es seine Farbe zu schwach hellbraun. Es absorbiert lebhaft Methylenblau aus seiner wässerigen Lösung und wirkt stark öl- und fettsaugend. Das Mineral ist hygroskopisch und läßt sich deshalb nur schwer zerkleinern.

Das spezifische Gewicht des Minerals, wie eingangs ermittelt, ist $d_{20} = 2,23$ (Mittel aus 3 Bestimmungen). Das spezifische Gewicht des gequollenen Montmorillonits ist unter der Voraussetzung, daß das Wasser in das Gitter eintritt, jedenfalls niedriger, als das des nicht gequollenen Minerals. Die Schwierigkeit richtiger Gewichtsbestimmungen hat schon H. Jung[8] erkannt; er versuchte, die Dichte des Montmorillonits von Dolmar zu bestimmen, wobei er die Schwebemethode anwendete. Er erhielt, je nach der angewendeten Flüssigkeit, infolge von Austauschreaktionen, schwankende Werte von $d_{17} = 1,98$ bis $d_{18} = 2,03$. U. d. M. ist das Mineral kryptokristallin und besteht aus einem dichten Aggregat kleinster Leistchen und Blättchen, die sich schwer voneinander trennen lassen. Mit Ausnahme von Spuren Quarz ist es frei von fremden Beimengungen. Die Nadelchen sind von mittlerer Doppelbrechung, sie zeigen γ' in der Längsrichtung und löschen z. T. gerade aus, sind also wohl rhombisch oder pseudorhombisch. Pleochroismus fehlt. Die mittlere Lichtbrechung des

lufttrockenen Minerals nach der Einbettungsmethode bestimmt, ist $n = 1,517-1,519$. Das bei 100° getrocknete Mineral ist höher lichtbrechend, n liegt bei $1,540-1,542$. Die Lichtbrechung steigt also bei der Entwässerung an, wie dies bei Montmorilloniten allgemein bekannt ist [4] und [7].

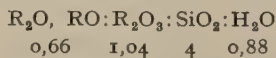
Ein Vergleich der Lichtbrechung mit Montmorilloniten anderer Fundorte läßt sich dessenungeachtet wegen des Eisengehaltes des Minerals schwer durchführen. Der von H. Jung[8] untersuchte Montmorillonit von Dolmar (gelbe Spezies) mit einem Fe_2O_3 -Gehalt von 5,56 % besaß eine mittlere Lichtbrechung: $n = 1,546$ bis $1,553$.

Das Mineral zerfällt im Gegensatz zu dem vorher beschriebenen grünen Silikat im Wasser zu Pulver und beginnt unter beträchtlicher Volumsvermehrung und Wärmeentwicklung zu quellen. Die wässrige Suspension reagiert etwas stärker alkalisch als das grüne Mineral; nach 24stündigem Stehen wird Lackmuspapier deutlich blau und es ergab sich ein $p_H = 7,5$. Das etwa 8 Wochen an der trockenen Luft gelagerte Mineral verliert bis 110° 22,55 % H_2O .

Das bei 110° getrocknete Mineral hatte folgende chemische Zusammensetzung:

	%	Molzahlen $\cdot 10^4$		%	Molzahlen $\cdot 10^4$
H_2O^+ (über 110°) . .	3,93 ¹⁾	2181	MgO . .	3,10	769
SiO_2 . . .	59,75	9948	CaO . .	3,36	599
TiO_2 . . .	Spur	—	Na_2O . .	1,28	207
Al_2O_3 . . .	24,41	2359	K_2O . .	0,16	17
Fe_2O_3 . . .	3,73 ²⁾	234	SO_3 . . .	0,10	
MnO . . .	—	—	CO_2 . . .	Spur	
				99,82	

Setzt man wie im Montmorillonit für $\text{SiO}_2 = 4$, so erhält man für das bei 110° getrocknete Mineral:



sehr nahe der Formel für Montmorillonit $(\text{OH})_2\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot \text{aqu.}$ ³⁾ wenn man die Alkalien und Erdalkalien als adsorbiert betrachtet, was aber mit Rücksicht auf die große Menge der Alkalien und des Magnesiums unwahrscheinlich ist. Darnach handelt es sich um einen

¹⁾ Das H_2O wurde hier auch direkt nach Brush-Penfield im Glühröhr bestimmt.

²⁾ Auf FeO wurde in allen drei Proben in einer besonderen Einwaage von 1 g nach Aufschluß mit H_2SO_4 — HF im CO_2 -Strom geprüft; zweiwertiges Fe war nur in Spuren vorhanden.

³⁾ Theoretisch für reinen lufttrockenen Montmorillonit der Formel $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{ SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 5 \text{ H}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ 53,42 %, Al_2O_3 22,64 %, $\text{H}_2\text{O} < 110^\circ >$ 23,94 %.

Kalkmontmorillonit mit sehr viel mehr Magnesia als der grüne Bentonit besitzt.

Die Bestimmung der austauschfähigen, basenbildenden Kationen (S-Wert) ergab 105 mval pro 100 g bei 105° getrocknetem Bentonit. Dieser Wert ist für Montmorillonit normal. In der Austauschlösung fanden sich 110 mval Ca- und rund 8 mval Mg-Ionen. Der Bentonit ist also überwiegend mit Ca-Ionen gesättigt und enthält vielleicht noch 10—15 mval lösliche Erdalkalisalze pro 100 g.

Der Gehalt an Erdalkali-Ionen in der Austauschlösung entspricht 3,1 % CaO und 0,16 % MgO. Der CaO-Gehalt der chemischen Analyse dürfte somit im wesentlichen auf austauschfähig gebundene Ca-Ionen zurückzuführen sein.

Die experimentell erhaltenen Zahlen waren folgende:

	weiße Probe		weiße Probe
Einwaage	1,8637 g	Gewichtsverlust bei 105°	16,0 %
NH ₄ Cl 1 n	20,0 ccm	2 g Bentonit mit 20 ccm	
Pipettenvolumen . . .	1,973 „	NH ₄ Cl 1 n geschüttelt	neutral
Titration m. NaOH n/20	36,51 „	S-Wert für den bei 105°	
Blindwert	39,69 „	getrockneten Bentonit	105,1 mval
Titration m. AgNO ₃ n/10	20,10 „	NH ₄ Cl-Angebot/100 g	1089 „
Blindwert	19,73 „	salzfreie Wasserhaut	19,2 ccm
Auswaage an CaO . . .	0,0057 g	Ca in der Austauschlg.	110,6 mval
Auswaage an Mg ₂ P ₂ O ₇	0,0008 g	Mg in der Austauschlg.	7,8 „
1 ccm n/20 NaOH		CO ₂	0 %
= 0,0503 mval			

Röntgeninterferenzen des weißen Bentonits
(lufttrockenes Präparat)

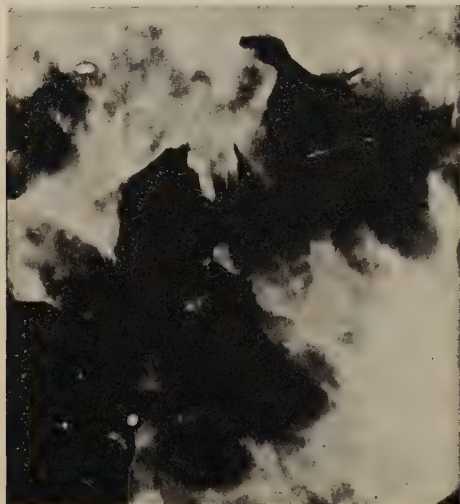
Intensität	d in Å	Indizierung	Intensität	d in Å	Indizierung
s. st. . . .	14,7	001	s. s. schw.	2,2	220
s. schw. .	4,9	003	schw. . .	1,67	240
st.	4,43	110	st. . . .	1,485	330
schw. . . .	3,33	Quarz	s. schw. .	1,37	Quarz
schw. . . .	3,03	00x ¹⁾	schw. . .	1,285	260
m.	2,53	130	schw. . .	1,24	420

Die Indizes gelten für Montmorillonit.

Das Röntgenbild zeigt bis auf einige äußere schwache Interferenzen alle Interferenzen des Montmorillonits. [9] Das Mineral wurde insbesondere durch die Verlagerung der innersten Interferenz mit dem Wassergehalt im Debye-Scherrerdiagramm identifiziert. Die Lage und

¹⁾ Über die Indizierung dieser Interferenz mit (00x) vgl. bei U. Hofmann und A. Hausdorf, Z. Krist. A 104, 265(1942). — Zu den Ergebnissen von H. G. F. Winkler, Z. Krist. 105, 291 (1944) wird einer von uns noch Stellung nehmen.

Intensität der Montmorillonitinterferenzen stimmt damit überein, daß das Mineral im wesentlichen Aluminium und wenig Magnesium enthält. [10] Daneben sind ganz schwach die beiden intensivsten Interferenzen des Quarzes zu erkennen. Da die Interferenzen des Quarzes kontinuierlich ausgebildet sind, muß die Feinheit der Quarzkriställchen sehr beträchtlich sein; sie dürfte unter 1μ liegen. Der Gehalt



0,5 μ

Abb. 1. Elektronenmikrobild des weißen Bentonits. Vergrößerung: 1:44 000

Der Bentonit wurde mit 2 ccm einer 8%igen CsCl-Lösung auf 80 mg Bentonit behandelt, das überschüssige CsCl ausgewaschen, der Bentonit fein aufgeschlämmt und ein Tropfen auf einer Zaponlackfolie eingetrocknet.

Die Ergebnisse der Entwässerungsversuche des weißen Bentonits sind in den Tabellen 1 und 2 und in den Diagrammen Abb. 2 und 3 zusammengefaßt. Eine 4 Wochen an der trockenen Luft gelagerte Probe mit einem Gesamtwassergehalt von 26,48% verlor über konz. Schwefelsäure 17,59% H_2O , das sind 78% seines bei 110° abgegebenen Wassers. Auch nach 30tägiger Versuchsdauer hört die Wasserabgabe nicht völlig auf, nur verläuft sie so langsam, daß sie sich in der Kurve Abb. 2 kaum mehr bemerkbar macht.

an Quarz beträgt etwa 2%. Andere Verunreinigungen des Minerals wie Feldspat, Kaolin und Glimmer lassen sich, wenn ihre Menge unter 10% liegt, im Röntgenbild nicht mehr erkennen, wir können daher nicht sagen, ob unser Mineral diese Beimengungen enthält. Sichtbar werden sie im Röntgenbild nicht; mikroskopisch lassen sie sich jedenfalls nicht feststellen.

Das Elektronenmikrobild zeigt die für Montmorillonit typischen unregelmäßigen Teilchen, oftmals aufgeboogene oder steil gestellte Schuppen und dazwischen dünne, wolkig aussehende Gebilde. Das Bild entspricht einem normalen Bentonit, während z. B. die Seifenerde von Gaura größere Blättchen erkennen läßt. In den stark geschwärzten, dickeren Klümpchen könnten Verunreinigungen verborgen sein.

Tabelle 1

H₂O-Verlust über konz. Schwefelsäure ($d = 1,83$) $T = 17 \pm 2^\circ \text{C}$

Einfwaage 3 g

Zeit in Stunden	Gewichtsverlust in g	H ₂ O-Verlust in %	Zeit in Stunden	Gewichtsverlust in g	H ₂ O-Verlust in %
nach			nach		
24	0,3561	11,87	120	15	16,39
48	657	14,06	144	12	16,43
72	669	16,29	672	342	17,57
96	15	16,34	816	6	17,59

Daß es sich hier lediglich um adsorbiertes Wasser handelt, geht, daraus hervor, daß das Mineral, isotherm (17°C) über Wasser gelagert

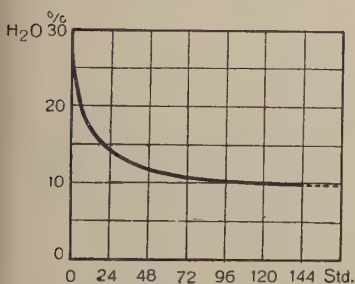


Abb. 2. H₂O-Verlust über 92 % H₂SO₄. $17 \pm 2^\circ \text{C}$.

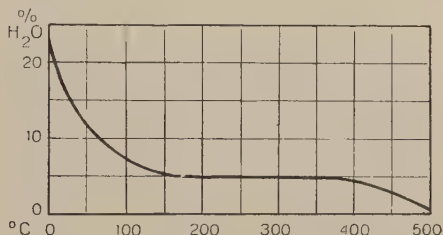


Abb. 3. H₂O-Verlust bis 500°C .

dieses nach etwa 96 bis 100 Stunden wieder aufnimmt, wobei darüber hinaus je nach dem Wasserdampfdruck der Umgebung noch weitere Wasseraufnahme erfolgt [11]. In dieser Beziehung verhält sich das Mineral wie ein richtiger Montmorillonit und ganz ähnlich wie der von H. Erdmannsdörfffer untersuchte Halloysit von Elbingerode im Harz oder der Halloysit von Torniella in Mittelitalien, den E. Dittler und Fr. Kirnbauer beschrieben. [13].

Für die Entwässerungsversuche bei höheren Temperaturen diente eine neue Probe des Minerals, das nach 8wöchentlicher Lagerung im Laboratorium einen Gesamtwassergehalt von 23,30 % aufwies. Die grob gepulverte Mineralprobe wurde in einem elektrisch regulierbaren Trockenschrank (Einstellung auf $\pm 5^\circ$) bzw. Heraeusofen bis zur jeweiligen Erreichung des Gleichgewichts auf die in Tabelle 2 angegebenen Temperaturen erhitzt und die erhaltenen Zahlen in die Kurve (Abb. 3) eingetragen. Die Versuchsdauer erstreckte sich auf mehrere Wochen. Die Messung der Temperaturen erfolgte bis 500° mittels eines geeichten Hg-Thermometers, darüber hinaus mittels Pt [PtRh]-Thermoelementes.

Tabelle 2

Einwaage 2 g

T in ° C	Zeit in Stunden	Gewichts- verlust in g	H ₂ O-Ver- lust in %	T in ° C	Zeit in Stunden	Gewichts- verlust in g	H ₂ O-Ver- lust in %
50	8	0,0658	3,29	200	295	056	—
	26	1406	10,32		319	002	19,35
	41	127	10,95	300	325	034	
	58	224	12,07		331	012	19,58
	60	007	12,10		390	001	
	79	073	12,46				
100	88	679	15,85	400	414	101	20,08
	103	158	16,64	450	438	250	21,33
	127	051	16,89	500	462	079	21,73 ¹⁾
	151	017	16,97				
150	199	415	18,99				
	223	006	19,02				
	271	009	19,06				

Bis 50° C verliert das Mineral demnach 12,46 %, bis 100° C 16,79 %, bis 150° C 19,06 %, bis 200° C 19,35 %, bis 300° C 19,58 %, bis 400° C 20,08 % und bis 500° C 21,73 % Wasser. Der Rest des Wassers entweicht erst bei 800—900° C.

Wie aus der Kurve (Abb. 3) ersichtlich, erfolgt die Abgabe des Wassers bis etwa 400° C kontinuierlich, wobei die Hauptmenge des Wassers schon bis 150° C entweicht. Der bei 110° bzw. 150° C im Mineral noch vorhandene Wassergehalt entspricht fast genau 1 Mol, auch das bis 150° C abgegebene Wasser ist offenbar noch adsorptiv und nicht chemisch gebunden. Zwischen 200° und 400° C verlangsamt sich die Wasserabgabe — es werden nur etwa 0,7 % Wasser ausgetrieben. Zwischen 400—450° C entweicht wie bei dem grünen Mineral das Wasser diskontinuierlich aus dem Gitter, wie die Kurve deutlich zeigt. Nach M. Mehmel [4] soll der Montmorillonit zwischen 200° und 400° das Wasser aus den Brucit-ähnlichen Schichten verlieren, erst von 500° C aufwärts soll es aus den pyrophyllitähnlichen Schichtpaketen austreten, wie dies auch bei Kaolin und Halloysit der Fall ist. Bei beiden Mineralien, sowohl dem weißen als auch dem unreinen grünen Montmorillonit beträgt der Wasserverlust zwischen 400° C und 500° C kaum mehr als 1,5 %.

Insgesamt enthält das Mineral bei 400° C noch 3,22 % H₂O; dies entspricht einer Menge von 4,2 g H₂O auf 100 g gegläute, wasserfreie Substanz. Diese Menge ist etwas niedriger als der theoretisch für Mont-

¹⁾ Bei den letzten drei Messungen wurde praktisch Gewichtskonstanz innerhalb je 24 Stunden erreicht.

morillonit zu erwartende Gehalt von 5 g H₂O, wenn man die im Gitter gebundenen OH-Gruppen als Wasser berechnet.

Tabelle 3

Einwaage 0,3 g

T 17° C ± 0,5

O-Punkt 2,275

ccm	ccm	Zeit in Min.	H ₂ O-Aufnahme in %
1,931	0,344	1	115
1,750	181	2	175
1,735	015	3	180
1,718	017	5	185,6
1,699	019	12	191,9
1,692	007	20	193,2
1,685	007	45	194,5
1,675	010	2 Std. 50 Min.	199,8
1,670	005	4 „ 50 „	201,4
1,666	004	6 „ 50 „	202,7
1,650	016	22 „ 10 „	208,0
1,648	002	27 „ 10 „	208,0
1,618	030	95 „ — „	218,6
1,606	012	143 „ — „	222,1

Die Messung der Quellung wurde im Enslinapparat [17] vorgenommen, wobei als charakteristische Zahlenwerte die maximale Wasseraufnahme und die Quelldauer erscheinen. Die experimentell erhaltenen Zahlen sind in Tabelle 3 eingetragen.

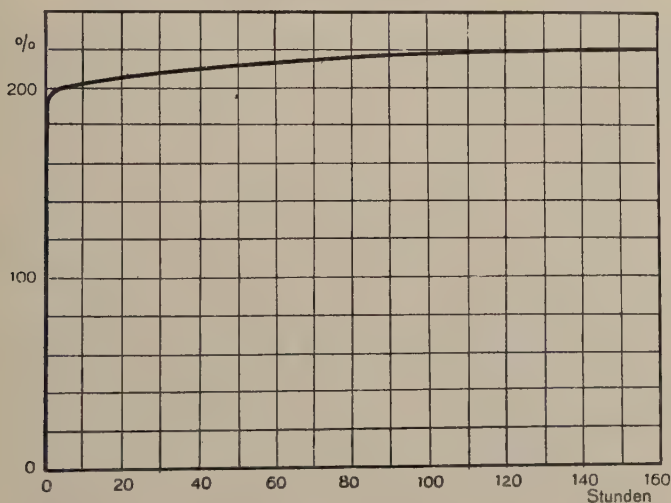


Abb. 4. Quellungskurve nach Enslin. % Wasseraufnahme. $t=17^{\circ}\text{C} \pm 0,5$

Das Mineral zeigt in hohem Maße das für den Montmorillonit charakteristische Quellungsvermögen, doch reicht es bei weitem nicht an das der von R. Grengg [14] untersuchten Roherde von Gaura in Siebenbürgen heran, dessen Quellziffer 400% und im gereinigten Zustande über 1000% erreicht.

Aus dem Diagramm (Abb. 4) geht hervor, daß das Wasser zunächst rein kapillar aufgenommen wird und die eigentliche Quellung erst nach einigen Minuten einsetzt. Nach 150stündiger Quelldauer verläuft die Kurve horizontal und es findet keine weitere Wasseraufnahme mehr statt.

Schluß.

Die hier beschriebenen Montmorillonitminerale gehören in die Reihe jener Schicht (Phyllo-)Silikate, welche unter kontinuierlicher Änderung der Gitterkonstanten c_0 Wasser aufnehmen oder abgeben können.

Die Montmorillonitminerale sind bekanntlich wegen der Abhängigkeit des Abstandes ihrer Schichtebene vom Wasserdampfdruck der Umgebung von großem Interesse. Die Erscheinung des innerkristallinen Quellungsvermögens steht in Übereinstimmung mit ihrer hohen Adsorptionsfähigkeit von Basen aus Lösungen und ihrem Basenaustauschvermögen. Da diese Eigenschaften durch die äußeren Bedingungen und durch Lösungsgenossen in hohem Grade bestimmt werden, ist es schwierig, diese Minerale physikalisch und chemisch eindeutig zu individualisieren [9]. Ein Vergleich der Analysen mit solchen von Montmorilloniten verschiedener Vorkommen, wie sie W. Noll zusammengestellt hat, zeigt, daß es ein konstantes molares Verhältnis $R_2O, RO:R_2O_3$ nicht gibt, ebenso wie auch das Verhältnis $R_2O_3:SiO_2$ schwankt. Daher kann die Verrechnung der Alkalien und Erdalkalien in die Formel nicht oder nur schwierig vorgenommen werden [15]. Diese können z. T. adsorptiv und austauschbar gebunden sein, worauf U. Hofmann [9] hingewiesen hat; der Rest müßte im Gitter selbst untergebracht werden. In welcher Form dies geschieht, darüber ist sich auch die heutige Forschung noch nicht einig. Nur das Magnesium spielt eine Sonderrolle, sitzt fester im Gitter und kann wie im Hektorit weitgehend das Aluminium vertreten.

Die hier beschriebene, rein weiße Modifikation ist jedenfalls ein sehr reiner Montmorillonit, was in Anbetracht des Umstandes, daß Vorkommen dieses Minerals in der Natur, in denen das Mineral auf Grund röntgenografischer Untersuchungen als identifiziert gelten darf, sich nicht sehr reichlich finden, besonders bemerkenswert ist [14]. Solche reine Montmorillonite sind von Unterrupsroth (Rhön) und von Tomesti in Rumänien bekannt, beide hydrothermalen Entstehung;

der erstere ist auf Klüften im Basalt entstanden, der letztere aus einem stark vitrophyrischen Liparit im Kontakt gegen kristalline Schiefer hervorgegangen.

Daran schließt sich nun der Montmorillonit von Baratká in Siebenbürgen. Hier fehlt vorläufig noch jeder Hinweis auf das Ursprungsgestein. Die Ausfüllung der Klüfte im Kalk und die besondere Reinheit der weißen Bentonitvarietät läßt jedenfalls auf eine sekundäre Umlagerung schließen. Das Ausgangsmaterial dürfte auch hier ein Ca- und Mg-reiches Eruptivgestein oder ein ebensolcher vulkanischer Tuff dazitischer Natur gewesen sein, aus dem nach der Ansicht W. Nolls [15] durch alkalische und CO_2 -arme Wässer keine vollständige Entfernung der Alkalien und Erdalkalien statthatte, wobei eben Montmorillonit entstand.

Die Verfasser danken dem Vorstande des Instituts für angewandte Mineralogie und Petrographie der Technischen Hochschule in Wien Prof. Dr. Roman Grengg und Dr. Annemarie Schmölzer für die Überlassung der von ihnen gesammelten Proben und geologischen Aufzeichnungen. Herrn Dr. R. Klemen sind wir für die Bestimmung der austauschfähigen Kationen zu Dank verpflichtet, auch Herrn Dr. G. Hamilton danken wir bestens für seine Hilfeleistung.

Wien, Technische Hochschule.

Institut f. angew. Mineralogie u. Petrographie.

Institut f. anorg. u. analytische Chemie.

Literaturverzeichnis.

1. F. Heide, *Chemie der Erde* III, 91 (1928). — 2. G. Calsow, *Chemie der Erde* II, 435 (1926). — 3. W. Noll, *Chemie der Erde* V, 373 (1930). — 4. C. W. Correns und M. Mehmel, *Z. Krist.* 94, 337 (1936) und M. Mehmel, *Chemie der Erde* XI, 1, (1938). — 5. Cl. Ross und E. V. Shannon, *J. Amer. Ceram. Soc.* 9, 77 (1926). — 6. J. W. Gruner, *Amer. Min.* 20, 475 (1935). — 7. E. S. Larsen und E. T. Wherry, *J. of the Washington Acad.* 178, 1917. — 8. H. Jung, *Chemie der Erde* XI, 217 und 278 (1938). — 9. K. Endell, U. Hofmann und D. Wilm, *Z. Krist.* 86, 340 (1933), ferner *Ber. dtsch. keram. Ges.* 14, 407 (1933), *Z. f. angew. Chemie* 47, 539 (1934) und *Z. Elektrochem.* 41, 469 (1935). — 10. H. Strese und U. Hofmann, *Z. f. angew. Min.* 247, 65 (1941). — 11. P. Schachtschabel, *Chemie der Erde* V, 97 (1930). — 12. H. Erdmannsdörffer, *Chemie der Erde* V, 97 (1930). — 13. E. Dittler und F. Kirnbauer, *Z. f. prakt. Geol.* 45, 117 (1937). — 14. R. Grengg, *Tonind. Ztg.* 64, Nr. 61 bis 62 (1940). — 15. W. Noll, *N. Jb. f. Min. Geol. u. Pal. Beil. Bd. 70 A*, 65 (1935) und *Chemie der Erde* X, 147 (1936). — 16. E. Dittler und F. Kirnbauer, *Z. f. prakt. Geol.* 41, 8 (1933). — 17. O. Enslin, *Chem. Fabrik* 6, 147 (1933). — 18. W. Eiel, *Physikalische Chemie der Silikate*, Leipzig 1941.

(Aus dem Institut für Kolloidforschung, Frankfurt a. M.)

Geologische Bänderungen durch Diffusion und Kapillarität.

Von

Raphael Ed. Liesegang.

Es sind in den letzten Jahren so viele neue Verteilungsformen bei Flüssigkeitsbewegungen durch kapillaren Sog gefunden worden, daß es sich lohnt, sie mit gewissen epigenetischen Strukturbildungen in Gesteinen zu vergleichen. Denn bei letzteren ist es immer noch nicht sichergestellt, was den Kapillarwirkungen und was den Diffusionen zuzuschreiben ist. Eine Klarstellung ist um so dringender, da selbst bei Physikern und Physikochemikern die beiden grundverschiedenen Bewegungsarten noch oft verwechselt werden. Läßt man im Modell die Strukturen entstehen, so ist es meist sehr leicht, beide Entstehungsarten voneinander zu unterscheiden. Allerdings kann es auch hier vorkommen, daß Diffusionen bei solchen Stücken nicht ganz ausgeschlossen sind, bei denen die Hauptformung zweifellos durch Kapillarität erfolgte. Bei den geologischen Vorkommen ist die Entscheidung dadurch erschwert, daß beide Treibmittel fast genau gleiche Bilder schaffen können. Die wenigen und unscheinbaren Merkmale sollten für das eine oder andere sicher entscheiden können, sind aber den meisten Forschern nicht bekannt.

Als geologisches Beispiel sind die epigenetischen Bänderungen des eozänen Sandsteins von Münzenberg in der Wetterau benutzt, die bisher auf Grund einer von mir versuchten Achattheorie als Diffusionserscheinung gedeutet wurde. Als Gegenstück seien die Salpeterlagerstätten in Chile genannt, bei denen gewöhnlich ausschließlich Kapillarität als Ursache für die nicht weiter strukturierte Anreihung herangezogen wird. Bei der oft mit Schalenbildung verknüpften Auswitterung von Salzen aus Bausteinen usw. in humidem Klima mit seinem Wechsel an Feuchtigkeit und Trockenheit ist ein Hinzutritt von Diffusionen zur Kapillarität wahrscheinlich.

Das Handwörterbuch der Naturwissenschaften (2. Aufl., Bd. 2) brachte eine Nebeneinanderstellung eines Achats und eines Münzen-

berger Sandsteins, deren Zeichnung (und Größe) auffallend ähnlich ist. Auch ihre chemische Zusammensetzung ist sehr ähnlich. Die rostbraunen Linien bestehen aus einem Eisenoxyd. Beim Achat war die Kieselsäure ursprünglich gallertig. Sie ist nachträglich auch Rekristallisation in den faserigen Chalzedon übergegangen. Beim Sandstein lag ein gröberes Korn vor, das kapillare Bewegung begünstigen müßte. Die epigenetischen Bänderungen treten in Münzenberg hauptsächlich aber da auf, wo feiner Ton die Zwischenräume füllt. Den Bodenkundlern ist die „Wasserdichtung“ des Tons bekannt. Es ist damit gemeint, daß Wasser nur auf die sehr langsame Art der Diffusion durchtritt.

Hinzu kommt, daß die Kieselsäure, welche die Sandkörner verkittete, ebenfalls den gallertigen Zustand durchgemacht haben wird, so daß Zustände geschaffen wurden, welche die Beschränkung auf Diffusion berechtigen. Aber die große Ähnlichkeit der Zeichnung ist noch kein Beweis für die Ähnlichkeit der Entstehungsart.

Eins der neuen Verfahren zur Erzeugung von Bänderungen durch Kapillarkräfte benutzt die langsame Niederschlagsbildung einer Mischung von Ammoniummonochromat und Kobaltchlorür. Auf die Mitte eines gutsaugenden Fließpapiers wird ein Fleck von 2 ccm einer 15%igen (halbgesättigten) Lösung des Chromats gesetzt. Im Gegensatz zu den älteren Verfahren (Runge usw.) wird dieser Flecken nicht erst trocknen gelassen. Man könnte sogar den ganzen Bogen mit der Lösung durchfeuchten. Nach Abtropfen des Überschusses würden in den Kapillaren noch so viel Lücken sein, daß die als zweite Flüssigkeit aufgesetzte konzentrierte (50%ige) Kobaltchlorürlösung nur etwa doppelt soviel Zeit zur kapillaren Ausbreitung brauchen würde, wie wenn die Chromatlösung ganz eingetrocknet wäre. Etwa $\frac{1}{2}$ ccm dieser Kobaltlösung kommt auf das Zentrum des Chromatkreises. Bisher hat man angenommen, man müsse in bestimmten zeitlichen Abständen so oft den Aufsatz der Kobaltlösung wiederholen, wie man konzentrische Ringe erzielen will. (Denn bei der Bänderung durch Kapillarwirkungen ist ja ein „äußerer Rhythmus“ notwendig, während bei der Diffusion ein „innerer Rhythmus“ es einem einzigen Tropfenaufsatz ermöglicht, sehr viele Ringe hervorzurufen.) Aber der erneute Tropfenaufsatz der Kobaltlösung ist hier nicht notwendig. Die folgenden Aufsätze (z. B. jede Minute $\frac{1}{4}$ ccm) bestehen aus reinem Wasser. Die Tatsache, daß man so rasch ein System von vielen konzentrischen Ringen erhalten kann, genügt hier allein. Auf die verwickelten chemischen und physikalischen Vorgänge braucht nicht eingegangen zu werden. Mit der jeweiligen Wassermenge kann man die Ringabstände verengern und erweitern. Für die bisher auf dem Diffusionswege erzeugten Ringsysteme galt die Regel, daß sich

ihr Abstand nach außen hin erweitert. Man kann zuerst überrascht sein, bei jenem Kapillarversuch einen gleichen Abstand der Ringe zu finden, wenn man von dem zwischen den beiden ersten absieht. Bei den später zu erwähnenden Kapillarversuchen ohne chemischen Umsatz verengen sich dagegen die Abstände der Ringe nach außen hin und mehrere verschmelzen schließlich zu einem einzigen Ring, weil die gleiche Flüssigkeitsmenge sich nach außen auf einen immer weiteren Raum ausdehnen muß. Beim Kapillarversuch mit Kobaltchromat gleicht sich diese verengende Wirkung mit einer erweiternden gerade aus, die dadurch bedingt ist, daß die Niederschlagsbildung hier um so langsamer erfolgt, je geringer die Konzentration des Kobaltchlorürs durch die weiteren Wasserzusätze wird.

Man könnte verlockt sein, aus dem Abstand der Ringfolge bei den Achaten usw. Schlüsse zu ziehen auf Diffusion oder Kapillarität. Es lassen sich manche Achate anführen, bei denen Übereinstimmung vorhanden ist mit den Diffusionsmodellen aus Silberchromat.

Aber häufiger fehlt diese Regelmäßigkeit. Dies ist kein Anlaß, grundsätzliche Verschiedenheit der Entstehung anzunehmen. Wechselt man beim Modell von Zeit zu Zeit die Konzentration der einziehenden Tropfen, so wird auch die Ringfolge sich ändern. Solche unregelmäßigen Spenden sind aber bei den natürlichen Vorkommen ohne Bedenken anzunehmen. Und wenn man auf Kapillarem aufbauen wollte, müßte man ebenfalls zu Unregelmäßigkeiten in der Zufuhr greifen.

Auch ohne gleichzeitigen chemischen Umsatz kann man nach einem neuen Verfahren bei Kapillarversuchen zu konzentrischen Bänderungen kommen. Man braucht dazu solche Säurefarbstoffe (oder ein farbiges Salz wie Ammoniumchromat), die mit der Front des Wassers kapillar wandern und sonst keine Spur ihres Wegs hinterlassen.

Auf die Mitte eines horizontal liegenden Fließpapiers wird ein größerer Tropfen von Säurefuchsinlösung aufgesetzt. Sobald er nach etwa einer Minute eingezogen ist, kommt an die gleiche Stelle ein größerer Wassertropfen, dann wieder Farbstoff, dann Wasser usw. Jeder Wassertropfen macht das Zentrum wieder farblos, indem er den Farbstoff weiter nach außen drängt. Während bei den Diffusions- und bei den Kapillarversuchen mit chemischen Umsatz der äußerste Ring der zuletzt entstandene ist, ist es hier der zuerst entstandene. Und im Gegensatz zu den anderen Verfahren rücken hier die Ringe nach außen hin immer dichter zusammen, wenn die aufeinander folgenden Tropfen gleich groß waren. Bei einer solchen Art von Wachstum (auch z. B. von einem Doppelringsystem) ist der Ausdruck Apposition nicht mehr angebracht.

Immer verlangt das Kapillare eine verwickeltere Versuchsanordnung als die Diffusion, bei der ein einziger Tropfenaufsatz sehr viele

Ringe erzeugen kann. Andererseits kann allerdings bemerkt werden, daß der wiederholte Wassertropfen vom Kobaltchromat in der Natur durch Wechsel von Trockenheit und Regenwetter ersetzt werden kann. Mit Kapillarität kann man außerdem einige Figuren herstellen, die mit Diffusion nicht gelingen. So kann man auf einem fertigen Ringsystem von Kobaltchromat mit den gleichen Mitteln von einem etwas seitwärts gelegenen Zentrum aus ein zweites System entstehen lassen, dessen Ringe die Ringe des ersten Systems störungsfrei kreuzen. Bei den Diffusionspräparaten würden Übersättigungen sehr starke Störung bei der Bildung des zweiten Ringsystems verursachen. Das Kapillare verläuft dagegen gewöhnlich viel zu rasch, als das sich eine Keimwirkung auf übersättigte Lösungen stärker bemerkbar machen könnte. Damit liegt also ein sehr wesentliches Unterscheidungsmerkmal für Diffusion und Kapillarität vor. Sollten sich solche Kreuzungen in Achaten oder epigenetischem gebändertem Sandstein auftreten, so wäre Diffusion auszuschließen. (Daß bei der primären Schichtung durch aufeinanderfolgenden Absatz Kreuzungen von Linien vorkommen können, ist zu selbstverständlich, um besonders beschrieben werden zu müssen.)

Bisher habe ich vergeblich bei den Achaten und dem Münzberger Sandstein nach solchen störungsfreien Durchkreuzungen gesucht. Anlaß dazu bei letzterem hätte es z. B. dann geben können, wenn sowohl von breiteren Spalten wie von den Orten ehemaliger Palmenwurzeln aus Bänderungen aus dem gleichen Eisenrost entstanden. In einigen Fällen weisen sogar die Störungen eines Ringsystems durch einen Spalt derart auf Diffusion hin, daß man vorläufig dieser den Hauptanteil zusprechen darf. Auch die Unvollkommenheit der Kapillarnachahmungen von Münzenberg-Vorlagen spricht gegen ihre Deutung durch Kapillarität. Damit darf aber noch nicht die Möglichkeit des Kapillaren in Sonderfällen ausgeschaltet werden.

Und Diffusion, epigenetische Bänderung durch Kapillarität und schließlich primäre Bänderung könnten sich doch einmal zusammenfinden. Deshalb schien es angebracht, dem Geologen einmal die Besonderheiten der durch Kapillarität entstandenen Bänderungen vorzuführen.

Zur Bildung von Gips aus Anhydrit.

Von

Wolf v. Engelhardt.

Mineralogisches Institut der Universität Göttingen.

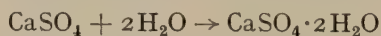
Mit 2 Abbildungen im Text.

Untersuchungen, die für Tiefbohrungen in Anhydritgestein angestellt wurden, gaben Veranlassung zu einigen Beobachtungen über den Mechanismus der Umwandlung von Anhydrit in Gips, die im folgenden mitgeteilt seien.

In der Abb. 1 sind nach den neuesten Daten die Löslichkeitskurven von Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) nach Posnjak [1] für den Temperaturbereich 0—200° und Atmosphärendruck zusammengestellt. Danach ist unterhalb 42° Gips die stabile Phase, oberhalb 42° dagegen Anhydrit. Oberhalb 100° tritt als neue Phase Halbhydrat auf, das jedoch stets metastabil ist.

Nach diesem Löslichkeitsdiagramm muß sich in reinem Wasser unterhalb 42° Anhydrit in Gips, oberhalb 42° Gips in Anhydrit umbilden. Dementsprechend finden wir auch in der Natur überall dort, wo primäre Anhydritgesteine in den Bereich der Oberflächenwässer gelangten, den Anhydrit weitgehend in Gips verwandelt (Beobachtungen hierüber siehe z. B. bei Calsow [2]).

Von der Umbildung des Anhydrits in Gips kann man sich leicht überzeugen, wenn man feingemahlene Anhydritpulver einige Tage bei Zimmertemperatur unter reinem Wasser stehen läßt. Es bildet sich dann aus dem ursprünglich lockeren Pulver eine verhältnismäßig zähe Masse, die durch neugebildete Gipskristalle verfilzt ist (zuerst wohl von Schott [3] beschrieben). Die Reaktion



geht insgesamt mit einer Volumverringerung von statten: Die Summe der Molvolumina der linken Seite der Reaktionsgleichung beträgt nämlich 81,99, das Molvolumen des Gipses aber nur 74,22. Durch Druckerhöhung wird die Gipsbildung deshalb begünstigt. Diese Tatsache wird durch Beobachtungen von G. Linck [4] bestätigt, der fand, daß Anhydritpulver mit Wasser unter Druck schnell durch Gipsbildung zu einer festen Masse verhärtet.

Die aus Anhydritpulver in Berührung mit Wasser entstehenden Gipskristalle lassen sich bereits nach kurzer Zeit röntgenographisch leicht im Pulverdiagramm nachweisen. Wartet man einige Tage, so haben sich so große Gipskristalle gebildet, daß sie unter dem Mikroskop bequem beobachtbar sind. Die Kristalle sind nach c gestreckt und dünnplattig nach (010) . Sie zeigen keinerlei Beziehungen zu den ursprünglichen Anhydritkörnern, insbesondere findet man in einem solchen Pulver niemals Anhydritkörner, die etwa randlich in Gips umgewandelt wären. An einem feinen Anhydritpulver, das 12 Tage in destilliertem Wasser gelegen hatte, ließ sich ferner beobachten, daß das entstandene Anhydrit-Gipsgemenge nur noch sehr wenige Anhydritkörner mit einem Durchmesser unter 3μ enthält, die im ursprünglichen Pulver in großer Menge vorgelegen hatten. Die neugebildeten Gipskristalle waren also vornehmlich auf Kosten der kleineren Anhydritkörner gewachsen.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß die Umbildung des Anhydrits zu Gips nicht etwa „topochemisch“ durch Wasseraufnahme des Anhydrits erfolgt. Vielmehr verläuft die Gipsbildung über die Lösung: Anhydrit geht in Lösung und aus der Lösung scheidet sich an einem anderen Orte Gips aus. Da unterhalb 42° gemäß Abb. 1 die Löslichkeit des Anhydrits größer ist als die des Gips, die für Anhydrit gesättigte Lösung also für Gips untersättigt ist, wird dieser Vorgang so lange verlaufen, bis aller Anhydrit verbraucht ist.

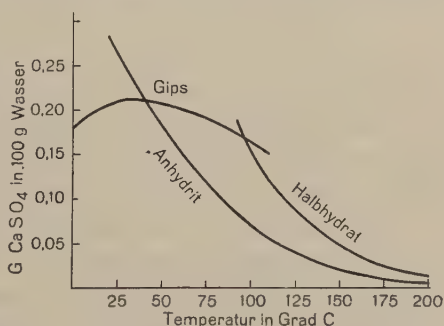


Abb. 1. Die Löslichkeit von Gips, Halbhydrat und Anhydrit in reinem Wasser.
(Nach Posnjak.)

Die Geschwindigkeit, mit der ein lockeres Anhydritpulver durch Gipsbildung zu einer mehr oder minder festen Masse erhärtet, kann, wie schon verschiedentlich in der Literatur beschrieben (vgl. z. B. Rohland [5]), Nithack und Wiegand [6], Hartner [7]), durch Zusätze zum Wasser stark beeinflusst werden. So ergibt z. B. Anhydritpulver in einer NaCl-Lösung schon nach wenigen Tagen eine Masse von der Festigkeit eines Gipsgesteins, während in einer verdünnten BaCl₂-Lösung auch nach tagelangem Stehen kaum eine merkbare Verfestigung zu beobachten ist.

Einige Versuche ergaben die folgenden Wirkungen 1%iger Salzlösungen auf Anhydritpulver (Versuchsdauer: 7 Tage, Zimmertemperatur):

1. Keine oder nur sehr schwache Verfestigung:

in Lösungen von: MgCl_2 , $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, BaCl_2 ,
 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, NH_4VO_3 ,
 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$.

2. Starke Verfestigung:

in Lösungen von: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, FeSO_4 (mit etwas H_2SO_4 -
 Überschuß),
 MnSO_4 , CuSO_4 , NaCl .

Die besonders starke Gipsbildung in NaCl -Lösung entspricht einer alten Beobachtung v. Charpentiers [8], der fand, daß sich Anhydrit auf einer Halde bei Bex (Kanton Waadt, Schweiz) besonders schnell in Gips verwandelte, wenn das Material durch Steinsalz verunreinigt war.

Die mikroskopische Untersuchung der Pulver nach dem Versuch ergab, daß sich in allen Fällen, auch dann, wenn keine deutliche Verfestigung zu beobachten war, Gipskristalle gebildet hatten. Die Anzahl der gebildeten Gipskristalle war in den unter 1. genannten Lösungen allerdings nur gering. Dies beweist, daß in keiner der Lösungen die Löslichkeitskurven für Gips und Anhydrit so verschoben waren, daß bereits bei Zimmertemperatur Anhydrit die stabile Phase darstellt. Die Unterschiede der Gipsbildung und Verfestigung in den einzelnen Lösungen beruhen daher im wesentlichen auf Unterschieden in der Geschwindigkeit, mit der die Gipsbildung verläuft.

Diese Unterschiede der Reaktionsgeschwindigkeit lassen sich erklären, wenn man zugrunde legt, daß der Vorgang der Umbildung über die Lösung verläuft: Eine Herabsetzung der Umbildungsgeschwindigkeit beobachtet man in allen den Lösungen, die Ionen enthalten, die mit den Ca^{++} - oder den SO_4^{--} -Ionen schwerlösliche Verbindungen bilden: so bilden Barium und Blei schwerlösliche Sulfate, während Vanadin- und Wolframsäure schwerlösliche Calciumsalze bilden. Nach den Beobachtungen von Roland [5] wirkt auch Borax der Gipsbildung entgegen, entsprechend der relativen Schwerlöslichkeit des Calciumborats. In Anwesenheit solcher Ionen, die mit Ca^{++} oder SO_4^{--} schwerlösliche Salze bilden, wird nämlich die Konzentration der Lösung an CaSO_4 nur gering sein können, daher wird auch die Wachstumsgeschwindigkeit der Gipskristalle, die notwendig der Konzentration der Lösung an Ca^{++} und SO_4^{--} proportional sein muß, nur gering sein. Anders ist die Wirkung von Salzen wie $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ und MgCl_2 , denen nach den Beobachtungen von Rohland [5] auch noch CaCl_2 hinzuzufügen wäre. Dies sind sog. „zerfließliche“ Salze, d. h. Salze, deren Lösungen einen besonders niedrigen Wasserdampfdruck haben. In Lösungen dieser Salze wird die Löslichkeit eines Hydrats gegenüber

der des entsprechenden wasserfreien Salzes erhöht sein: man wird also erwarten dürfen, daß in diesen Lösungen der für die Gipsbildungsgeschwindigkeit maßgebliche Unterschied zwischen den Löslichkeiten von Gips und Anhydrit gegenüber reinem Wasser verkleinert sein wird¹⁾, woraus sich eine Verlangsamung der Gipsbildung ergibt.

Die in den unter 2. genannten Lösungen zu beobachtende stark erhöhte Geschwindigkeit der Gipsbildung dürfte auf einer etwa gleichmäßigen Erhöhung der Löslichkeit des Gips und des Anhydrits oder einer Erhöhung der Löslichkeit des Anhydrits gegenüber der des Gips beruhen, wodurch die Reaktion entsprechend beschleunigt wird²⁾.

Die Gipsbildung läßt sich weiterhin dadurch besonders wirkungsvoll hemmen, daß man der Lösung kolloide Stoffe zusetzt, die die Anhydritkörner mit Kolloidschichten bedecken und so deren Lösungsgeschwindigkeit stark herabsetzen. Hierzu eignen sich viele kolloide Lösungen. Als besonders wirksam erweisen sich Gelatine und verdünnte Lösungen der neutralisierten Sulfitablauge.

Ein Maß für die Gipsbildung in einer durchfeuchteten Anhydritmasse ist die Zähigkeit des entstehenden Filzes aus Gipsnadeln. Dieselbe wurde mit dem folgenden Apparat gemessen: Ein zylindrischer Glasrog mit ebenem Boden (Innerer Durchmesser: 76 mm, Höhe: 50 mm) ist auf einem um eine vertikale, in Kugellagern gelagerte Achse drehbaren Tisch fest aufgesetzt. In die Mitte des Troges taucht ein feststehender zylindrischer Glasstab (Durchmesser: 31 mm), dessen ebene Endfläche sich 1 mm über dem Trogboden befindet. In den Glasrog werden 100 g feingemahlene Anhydritpulver und 120 cm³ der zu untersuchenden Flüssigkeit gebracht. Nach dem Absetzen bildet der Anhydrit auf

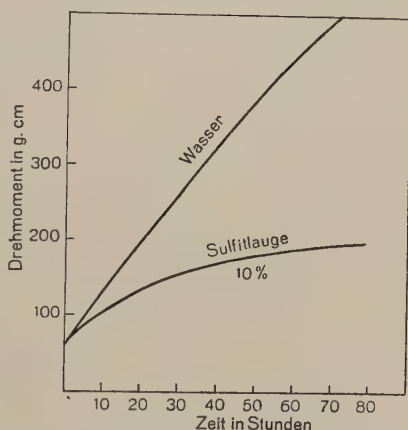


Abb. 2. Verfestigung von Anhydritschlamm durch Gipsbildung in Wasser und SulfitlaugeLösung.

¹⁾ Durch eine Erhöhung der Löslichkeit des Gips wird durch diese Salze der Schnittpunkt der Löslichkeitskurven für Anhydrit und für Gips von 42° nach niederen Temperaturen verschoben.

²⁾ Durch diese Salze wird der Schnittpunkt der Löslichkeitskurven für Gips und Anhydrit nicht verschoben, oder, falls die Löslichkeit des Anhydrits gegenüber der des Gips erhöht wird, nach Temperaturen über 42° verlagert.

dem Boden des Gefäßes eine etwa 15 mm hohe Schicht. Durch ein Kräftepaar (Gewichte an Stahldrähten), das an einer Schnurscheibe (Durchmesser: 40 mm) angreift, die fest an der Tischachse angebracht ist, wird dasjenige Drehmoment bestimmt, das eine gerade eben merkliche Rotation des Glastroges mit Anhydrit und Flüssigkeit gegen den feststehenden Glasstab bewirkt. Dieses Drehmoment ist ein Maß für die Erhärtung des Anhydritschlammes durch die Gipsbildung.

In der Zahlentafel 1 sind einige so gemessene Zahlen über die Erhärtung zusammengestellt. In der Abb. 2 ist die Erhärtung des Anhydritpulvers in Wasser und in 10%iger Sulfitlauge (10 g „Trockenlauge“ auf 100 g Wasser) graphisch dargestellt.

Zahlentafel 1.

Erhärtung von Anhydrit.

Lösung	Zeit in Stunden	Drehmoment g·cm
dest. Wasser	72	490
MgCl ₂ -Lösung, gesättigt .	72	214
BaCl ₂ ·2H ₂ O 0,1 %	72	234
BaCl ₂ ·2H ₂ O 1 %	72	214
BaCl ₂ ·2H ₂ O 5 %	72	194
Sulfitlauge 1 %	72	284
„ 1 %	72	284
„ 10 %	72	204

Schrifttum.

1. Posnjak, E., Amer. J. Sci. (5), 35a, 247 (1938). — 2. Calsow, H., in Hintzes Handb. d. Mineralogie, Bd. I, 3, 2, S. 3755. — 3. Schott, Dinglers polytechn. J. 202, 329 (1871). — 4. Linck, G., DRP. Nr. 194316 v. 12. II. 1907. Chem. Zbl. 1, 1124 (1908). — 5. Rohland, P., Z. anorg. u. allg. Chem. 36, 332 (1903). — 6. Niethack und Wiegand, DRP. 74868, 1893. — 7. Hartner, F., DRP. 312239, Kl. 8ob. vom 19. VII. 1917. — 8. v. Charpentier, Leonhards Taschenbuch 15, 336, (1821).

Buchbesprechungen.

Das Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik. Einführungsband, bearbeitet von Fritz Kubach. 229 S. mit 16 Bildnissen. Carl Winter, Universitätsverlag Heidelberg 1943. Preis kart. 4,50 RM.

Der von F. Kubach herausgegebene Einführungsband der Gruppe Naturwissenschaft und Mathematik der Studienführer des Reichsstudienführers soll einen Gesamtüberblick über Gegenstand, Weg und Ziel des naturwissenschaftlich-mathematischen Studiums geben. Diesem Ziel dienen Darstellungen über Wesen und Aufgaben der einzelnen Fachgebiete, eine Übersicht über die studentischen Organisationen, eine Zusammenstellung der wichtigsten Bestimmungen über Studiendurchführung und Prüfungen und eine Liste über allgemeines und fachliches Schrifttum.

Die folgenden Gebiete werden von Fachvertretern in Einzelabschnitten dargestellt: Mathematik, Astronomie, Physik, Geophysik, Meteorologie, Ozeanographie, Chemie, Biologie, Geologie und Paläontologie, Mineralogie und Petrographie, Bodenkunde, Geographie, Naturwissenschaftsgeschichte, Naturphilosophie. Diese Fächer werden einzeln in den Fachbänden der Studienführer ausführlich nach Objekt, Methode und Aufbau dargestellt. Der vorliegende Band soll nicht nur ein Resumé dieser Bände abgeben, sondern es soll hier die Naturwissenschaft als ein Ganzes vor den Studienanfänger treten. Er soll hier erfahren, wie der Gesamtbau sich gliedert und stuft, wo das Einzelfach, für das er sich entscheiden will, eingeordnet und wie es zu den anderen Fächern gelegen ist. Damit will dieser Einführungsband nach den Worten des Herausgebers dazu dienen, „entgegen den Bestrebungen der Spezialfächer die Einheit der Naturforschung und Naturerkenntnis“ im Bewußtsein der jungen Studenten zu festigen, — ein Programm, dem gewiß ein jeder zustimmen wird, dem es klar ist, daß die betonte Spezialisierung der Fächer und vor allem die frühzeitige Einengung der Ausbildung des jungen Studenten auf ganz spezielle Methoden und Probleme ein ernstes Hemmnis für die künftige Entwicklung der Naturforschung bedeutet. Die beigegebenen 16 Bildnisse großer deutscher Naturforscher sind ein schönes Wahrzeichen für den Plan des Buches.

Je überzeugter man von der Notwendigkeit einer solchen Unternehmung ist, desto schmerzlicher wird man es empfinden, daß in manchen Artikeln über die Einzelfächer von einer Gesamtordnung der Naturwissenschaften in der jedes Fach seinen Platz hat, nicht viel zu spüren ist. Besonders gilt dies für die Artikel „Physik“ (R. Tomaschek) und „Chemie“ (H. R. Schultze). So werden z. B. nicht alle Chemiker und Physiker mit den Worten Tomascheks einverstanden sein: „Physik ist im weitesten Sinne die Wissenschaft von der unbelebten Natur. Einige Teile der Physik haben sich zu besonderen Wissenschaften entwickelt, wie z. B. die Chemie, welche die Physik der Atomgruppierungen umfaßt.“ Beim Studenten muß es Verwirrung anrichten, wenn dann einige Seiten weiter unter „Chemie“ (H. R. Schultze) zu lesen ist: „Die Chemie ist der Zweig der exakten

Naturwissenschaften, der vom Stofflichen handelt.“ Andererseits sekundiert dieser Autor einige Zeilen weiter den von Tomaschek geäußerten Ansprüchen, wenn er feststellt, daß die Trennung Physik/Chemie nur noch aus Zweckmäßigkeitsgründen aufrecht erhalten werden könne. Schließlich wird auf der nächsten Seite gesagt: „Die Gesetzmäßigkeiten innerhalb der anorganischen und organischen Stoffwelt sind Gegenstand der Physikalischen Chemie“, womit es gänzlich unklar geworden sein dürfte, was nun eigentlich die Materie der Chemie ist und ob eine solche Wissenschaft überhaupt existiert.

Die Naturwissenschaften, wenn auch aus dem einen Wunsch nach Naturerkenntnis entstanden und von der Idee geleitet, daß unter der Vielfalt der Erscheinungen Ein Wesen sich verberge, sind noch lange nicht bei der Erkenntnis dieses Wesens angelangt. Wir haben keine Grundwissenschaft, aus der sich die anderen Naturwissenschaften „erklären“ lassen. Vielfältig wie die Erscheinungen der Natur ist die Zahl der Naturwissenschaften, die erst in ihrem Nebeneinander und Füreinander unsere ganze Kenntnis der natürlichen Dinge ausmachen. Dem Studienanfänger den historisch gewordenen Bau dieser verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächer mit allen wirkenden Wechselbeziehungen aufzuzeigen, ist nützlicher, als wenn jeder Fachvertreter darum bemüht ist, zu zeigen, daß sein Fach das einzig beachtenswerte und alles Wesentliche umfassende sei: die anderen Fächer werden im letzteren Falle „Teilgebiete“ oder „Hilfswissenschaften“ von notwendig inferiore Charakter. Im Munde eines anderen Spezialisten erscheinen dann diese Teilgebiete ihrerseits als selbständige Fächer mit nicht minder hohen Ansprüchen, und das Verhältnis von Grundwissenschaft zu Hilfswissenschaft kehrt sich um.

Daß dieser unheilvolle Relativismus nicht unbedingt notwendig ist, daß es auch anders geht, zeigt u. a. der Artikel K. Beurlens (Geologie und Paläontologie), wo nicht von „Hilfswissenschaften“ der Geologie sondern von Mineralogie, Petrographie, Geophysik usw. als den Fächern gesprochen wird, die die speziellen Grundlagen für die Erforschung der Geschichte der Erde und des Lebens liefern.

v. Engelhardt.

Schneiderhöhn, Hans, Erzlagerstätten. Kurzvorlesungen zur Einführung und Wiederholung. Gustav Fischer, Jena 1944. 290 S. Kart. 12.— RM.

Dem ersten Band seines großen Lehrbuches der Erzlagerstättenkunde, das in dieser Zeitschrift XIV, 152 ausführlich gewürdigt wurde, hat der Verfasser einen kurzen Leitfaden des Gesamtgebietes folgen lassen, der in erster Linie für Studenten bestimmt ist. Dieser Gedanke ist besonders zu begrüßen, da es kein vollständiges modernes Werk der Erzlagerstätten in deutscher Sprache gibt und das im Erscheinen begriffene für den Studenten zu umfangreich wird.

Der Stoff ist nach den lagerstättenbildenden Vorgängen gegliedert: Diese Art der Darbietung ist für das tiefere Verständnis weitaus die geeignetste und bedeutet einen wesentlichen Fortschritt gegenüber älteren Darstellungen. Der erste Hauptteil (S. 16—130) umfaßt die Lagerstätten der magmatischen Abfolge und deckt sich in der Gliederung im wesentlichen mit dem Lehrbuch. In der Benennung sind einige Abweichungen zu verzeichnen, z. B. Tiefengesteine statt Intrusivgesteine, pegmatisch-pneumatolytische Lagerstätten statt pneumatolytische. Bei der Aufführung der hydrothermalen Lagerstätten ist S. 60 versehentlich die Zinn-Silber-Wismut-Wolframformation ausgelassen, die nachher ausführlich behandelt wird.

Der zweite Hauptteil behandelt die Lagerstätten der sedimentären Abfolge (S. 131—216). Während bei den magmatischen Lagerstätten besonderer Wert auf eine scharfe und klare Gliederung der lagerstättenbildenden Vorgänge gelegt

wurde, ist dieser Grundsatz bei den sedimentären Bildungen nicht völlig durchgeführt worden. Auf das Kapitel über Verwitterungszonen älterer Lagerstätten, in dem die Oxydations- und Zementationszone besprochen wird, folgt eines über mechanisch aufbereitete Verwitterungsrückstände, Seifen und Trümmerlagerstätten. In dem nächsten Kapitel werden die terrestren Salzlagerstätten zu den „Verwitterungslagerstätten auf dem Festland“ gerechnet, die Seeerze aber im darauffolgenden zu den „Ausscheidungslagerstätten in Binnengewässern und Meeren“. Die marinen Salzlagerstätten sind zwar nicht behandelt, es ist ihnen aber eine eigene Kapitelüberschrift und 6 Zeilen Text gewidmet, eigentlich gehören sie doch wohl zu den Ausscheidungslagerstätten. Die Lagerstätten der Brennstoffe haben ebenfalls eine eigene Überschrift, sie sind mit Recht in einem Abriß der Erzlagerstättenkunde nicht behandelt, konsequenter wären sie wohl unerwähnt geblieben. Recht unglücklich vereint das letzte Kapitel unter der Überschrift „descendente Lagerstätten“ heterogene Dinge. Weißeisen erz und Kohleneisenstein haben dieselbe Entstehung wie Seeerz, sie sind nur unter Sauerstoffabschluß entstanden. Pyritkonkretionen gehören zur Diagenese, also streng genommen zur Metamorphose, ebenso die metasomatischen Lagerstätten.

Im letzten Kapitel werden die Lagerstätten der metamorphen Abfolge behandelt (S. 217—259). Nach einem kurzen Hinweis auf „kontaktmetamorphosierte Erzlagerstätten“ folgen etwas ausführlicher „metamorphosierte Erzlagerstätten in kristallinen Schiefern der Belastungs-, Dislokations- und Regionalmetamorphose“ und als letztes Kapitel „polymetamorphe komplexe Erzlagerstätten mit magmatischen und paläogen mobilisierten Zufuhren“. Es werden also solche Lagerstätten behandelt, die eine Metamorphose erlitten haben, nicht etwa solche, die durch Vorgänge der Metamorphose gebildet wurden. So sind z. B. alle Lagerstätten, die der Kontaktmetamorphose ihre Entstehung verdanken, bei den magmatischen Bildungen behandelt, ebenso die hydrothermalen Verdrängungslagerstätten. Auch ich halte es für richtig, die Lagerstätten, die umgewandelt worden sind, zu den metamorphen zu stellen; aber wenn man eine Systematik der lagerstättenbildenden Vorgänge erstrebt, sollte man doch auch die eigentlich lagerstättenbildenden Vorgänge der Metamorphose, also insbesondere die Metasomatose zur Metamorphose stellen, gleichgültig welcher Herkunft die erzbringenden Dämpfe und Lösungen waren.

Diese grundsätzlichen Bemerkungen zur Systematik sollen in keiner Weise den Wert des Buches herabsetzen. Eine recht eingehende Prüfung erwies es als äußerst brauchbar und zuverlässig. So wird es auch der Fachmineraloge mit Nutzen zur Hand nehmen, auch wenn er hier und da Ausstellungen zu machen hat, wie das bei einem so umfassenden Werk immer der Fall sein wird. So wird richtig geschildert, daß die Raseneisenerze sich „am Boden flacher sumpfiger oft mit Torf erfüllter Senken“ gebildet haben sie werden trotzdem von den Seeerzen abgetrennt und behauptet, daß sie viel Quarz und Ton enthalten, was nicht zutrifft. Hier spielt irgendwie die im gleichen Abschnitt erwähnte angebliche Verwandtschaft mit den Ortsteinen hinein, die als Verkittung im Boden völlig anderer Entstehung sind, und die viel Quarz und Ton enthalten. Auch über die Darstellung des Schwefelkreislaufs läßt sich streiten. Die Diskussion hierüber soll gelegentlich an anderer Stelle erfolgen.

Eine nützliche Tafel, die die wichtigsten Erzminerale mit ihren Metallgehalten geordnet nach dem periodischen System auführt, sowie Orts- und Sachverzeichnis beschließen das Buch. Im Sachverzeichnis sind viele Fremdworte und Fachausdrücke erklärt.

Zusammenfassend möchte ich betonen, daß ich das Buch gerade wegen seiner genetischen Ausrichtung auf das wärmste begrüße. Es ist recht geeignet, den Nachwuchs einzuführen. Daß die Abbildungen fehlen, scheint mir dabei insofern tragbar, als das Buch ja meist neben einem Kolleg benutzt werden wird.

Correns.

Beringer, Chr. Carl, Geologisches Wörterbuch. Erklärung der geologischen Fachausdrücke. 2. Aufl., Stuttgart 1943, Ferdinand Enke Verlag. Geh. 5,60 RM., geb. 6,60 RM.

In welcher Art man ein derartiges Wörterbuch anlegt, darüber wird man verschiedener Ansicht sein können. Das vorliegende Buch liegt bereits in 2. Aufl. vor, hat also bereits einen Leserkreis gefunden. Es soll nach dem Vorwort der 1. Aufl. „dem Studierenden, dem Lehrer und dem Forscher ein Hilfsmittel neben den üblichen Lehrbüchern sein, das ihm über einen Fachausdruck schnelle Auskunft gibt.“ Daneben soll es den vielen Liebhabern der Geologie die Lektüre fachwissenschaftlicher Werke erleichtern. Wenn der Verfasser weiterhin erklärt, daß er sich bemüht hat, vor allem die eingebürgerten Begriffe der allgemeinen Geologie unterzubringen, so möchte der Referent nur der Hoffnung Ausdruck geben, daß zahlreiche der in dem Buch angeführten Worte sich nicht einbürgern mögen. Die Durchsicht ergibt den betrüblichen Eindruck, daß sich ein Wust von unnötigen und unerwünschten Ausdrücken im Laufe der Jahrzehnte in der geologischen Kunstsprache angefunden hat. Bei Namen wie: Akratopege, Akratotherme, aptygmatisch, Aspit, Asthenosphäre, Balme, Diktyogenese, Frana, Fixismus, hapalokrat, heteromésisch, instantan, Katavothre, kerogen, Mounds, ökogen, Paraphoren, plakogen kann man nur wünschen, daß sie wieder verschwinden. Sie wirken auf Laien und auch auf die wissenschaftlichen Nachbarn abschreckend.

Die Durchsicht ergibt eine Reihe von Ausstellungen: Assimilation ist nicht die „Vereinigung inhomogener Magmen zu einem homogenen Magma“, sondern die Aufschmelzung fremder Bestandteile. Bodenazidität ist der Säuregrad des Bodens und nicht „die zunehmende Versauerung der Böden“. Wesentlich für den Glaukonit ist sein Kaligehalt, der nicht erwähnt wird. Seine Entstehung ist umstritten, man wird jedoch nicht behaupten dürfen, daß er „wichtigstes Produkt der Halmyrolyse“ ist. Wenn man alle „Gesteine, bei denen die Gemengteile Kristalle oder doch kristalline Körner (körnig) sind“, kristallin nennen wollte, müßte man die Sandsteine und die Tone auch so nennen. Das Wort hat in der Petrographie einen engeren Sinne bekommen. Die Übersicht der wichtigeren Magmagesteine ist revisionsbedürftig. So fehlt Diorit, dafür ist als Kalkalkaligestein der Syenit eingesetzt, auch Trachyt wird man nicht gern als Kalkalkaligestein bezeichnen. Der Verfasser zitiert dankenswerterweise häufig die Autoren, denen er seine Kenntnisse verdankt. Auf S. 87 wäre es erwünscht, bei der Sedimentationsgeschwindigkeit der Tiefseesedimente W. Schott anzugeben (statt „man hat errechnet“). Das vom Referenten herausgegebene Buch Barth-Correns-Eskola ist nicht, wie auf S. 123 angegeben, bei Borntraeger sondern bei Springer erschienen. Der Rote Tiefseeton ist nicht „wahrscheinlich ein Zersetzungsprodukt tonerhaltiger Silikate, die durch submarine und kontinentale vulkanische Eruptionen ins Meer gelangten“, sondern wie nachgewiesen wurde, die feinste ins Meer gelangte Trübe verschiedenster vorwiegend terrigener fluvialer Herkunft.

Ein solches Wörterbuch ist sicherlich ein Bedürfnis, zumal da das Buch von Schmidt seit einigen Jahren vergriffen ist, jedoch dürfen die Schwierigkeiten einer solchen Zusammenstellung nicht unterschätzt werden.

Correns.

Eucken, A., Lehrbuch der chemischen Physik. 2. Aufl., II. Band, in Gemeinschaft mit Dozent Dr. Klaus Schäfer, I. Teil 1943, geb. 29.— RM. II. Teil 1944, geb. 50.— RM. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig.

Bereits bei der Besprechung der 5. Auflage von Euckens Grundriß der physikalischen Chemie in dieser Zeitschrift (XV, 168 (1943)) wurde erwähnt, daß sich 1929 von „Grundriß“ das umfangreichere „Lehrbuch“ abgespalten hatte. Von diesem Lehrbuch liegt jetzt die 2. Auflage abgeschlossen vor. Der erste Band, der bereits 1938 erschien, ist vergriffen. Hier soll deshalb nur der zweite besprochen werden.

Während der Grundriß als Einführung in die physikalische Chemie gedacht ist, wendet sich das Lehrbuch an Leser, die bereits mit den Elementen der physikalischen Chemie vertraut sind. Dafür kann es eine mehr ins Einzelne gehende Darstellung geben. An sehr vielen Stellen wird der Grundriß zitiert. Das ist nicht so gemeint, daß die betreffende Stelle des Grundrisses für den physikalisch-chemisch vorgebildeten Leser zum Verständnis nötig wäre, sondern es soll ein Hinweis auf eine andersartige, elementare Behandlung dort sein. Allerdings wird mancher Leser, gerade aus dem Kreis dieser Zeitschrift, gern den Grundriß neben dem Lehrbuch zu Rate ziehen.

Den Gesamtplan des Werkes möchte ich mit den eigenen Worten des Verfassers (Bd. I, S. 12) wiedergeben: „Das eigentliche Ziel, welches angestrebt wird, ist in einer gedanklichen Synthese der Partikeln aus den Elementarteilchen und der makroskopischen Materie (Gase, Flüssigkeiten, Festkörper) aus den Partikeln zu erblicken, m. a. W. es soll versucht werden, unsere heutigen Kenntnisse über den Bau der Atome, Molekeln und der makroskopischen Materie in einer solchen Form zur Darstellung zu bringen, als ob wir in der Lage wären, jeden beliebigen Stoff letzten Endes aus seinen einzelnen Elementarteilchen wirklich aufzubauen. Dabei kommt es weniger darauf an, ob eine derartige Synthese wirklich durchführbar ist; von entscheidender Bedeutung ist vielmehr, daß man durch den gedanklich vorgenommenen Aufbau schließlich zu Stoffen gelangt, welche hinsichtlich der Gesamtheit ihrer Eigenschaften mit den wirklichen Stoffen übereinstimmen. Freilich muß von vornherein zugegeben werden, daß sich gegenwärtig eine derartige gedankliche Synthese noch keineswegs lückenlos durchführen läßt (vor wenigen Jahrzehnten wäre ein solcher Versuch sogar vollständig aussichtslos gewesen), vielmehr werden wir bei der Durchführung des allgemeinen Planes nicht selten gezwungen sein, den Gang der rein deduktiven Entwicklung durch Hinzunahme allgemeinerer oder speziellerer empirischer Ergebnisse zu ergänzen.“

Während im ersten Band die korpuskularen Bausteine der Materie behandelt werden, ist der zweite den „Makrozuständen“ gewidmet. Im ersten Teil des zweiten Bandes, der schon vor einem Jahr erschien, werden im ersten Kapitel die Grundzüge der Thermodynamik entwickelt. Im zweiten Kapitel folgt die statistische, im dritten die kinetische Theorie der Materie. Im vierten Kapitel beginnt mit den Gasen der spezielle Teil. Im zweiten Teil des zweiten Bandes bringt das fünfte Kapitel unter dem Titel „Der kristallisierte Festkörper“ eine sehr präzise und allgemein verständliche Darstellung dieses für den Mineralogen besonders wichtigen Gebietes vom Standpunkt des Physikochemikers. Besonders hingewiesen sei auf die Behandlung der mechanischen Eigenschaften, der Fehlorderungserscheinungen, der Atomwärme und der Orientierungseffekte. Im sechsten Kapitel werden die Flüssigkeiten behandelt, im siebenten und letzten die Grenzflächenerscheinungen. Dieses ist mit seinen 314 Seiten für den Leserkreis dieser Zeitschrift das wichtigste. Das mögen einige Überschriften bezeugen:

Thermodynamik der Grenzflächen, Bindung einzelner Gitterbausteine in und an der Oberfläche fester Stoffe, theoretische Berechnung der Oberflächenenthalpie und Oberflächenspannung, Struktur der Grenzfläche. Die Adsorptionserscheinungen werden ausführlich besprochen. Bei der Erörterung der elektrischen Ladung und der Stabilität hydrophober Kolloide wird auch auf die Erscheinung der Thixotropie eingegangen. Die Kinetik der Phasenbildung wird im wesentlichen im Anschluß an Volmer gebracht.

Diese Beispiele mögen genügen, um die Reichhaltigkeit des Inhalts zu zeigen. Von den heterogenen Gleichgewichten, die heute noch für manche Mineralogen der Inbegriff der physikalischen Chemie sind, werden nur die Zweistoffsysteme behandelt und diese zwar sehr kurz, aber recht eindringlich. Die Bedeutung dieser Dinge für Fragen der Mineralbildung wird auch vom Referenten nicht unterschätzt, das Lesen in einem Buch wie dem vorliegenden ist aber nach seiner Meinung gerade deshalb zu empfehlen, weil es zeigt, wieviele andere Gebiete des Nachbarn reif für die Zusammenarbeit sind. Dies gilt zur Zeit besonders für die Vorgänge an Grenzflächen, deren physikalisch-chemische Kenntnis in den letzten Jahren sehr vertieft worden ist.

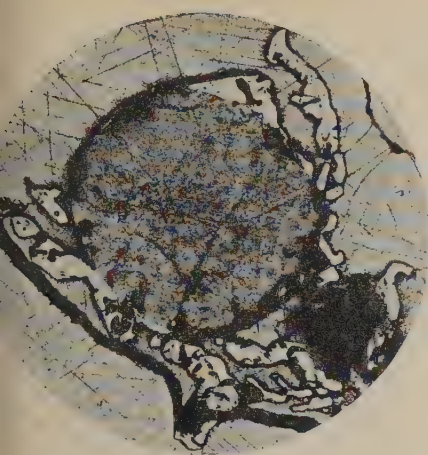
So wird das Werk jedem, der tieferes Verständnis der mineralbildenden Vorgänge der Erdrinde sucht, gerade in dem vorliegenden Band viele wertvolle Kenntnisse und reiche Anregung bieten.

Correns.

Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie. 8. Aufl. Syst. Nr. 51: Protactinium und Isotope. Verlag Chemie, Berlin 1942. Brosch. 19.—RM.

Das Protactinium ist ein Zerfallsprodukt eines Uranisotops. Das Vorkommen ist deshalb im Uranband, der in dieser Zeitschrift 12, 274 besprochen wurde, mitbehandelt. Das gilt auch für die im gleichen Heft behandelten Uran X_2 und Uran Z. Wie bei den anderen Elementen sind die Geschichte der Entdeckung dieser Elemente, ihre physikalischen Eigenschaften, ihr chemisches Verhalten und ihre Verbindungen dargestellt. In der Überschrift auf der 1. Seite ist durch einen Druckfehler die Ordnungszahl des Pa mit 11 statt mit 91 angegeben.

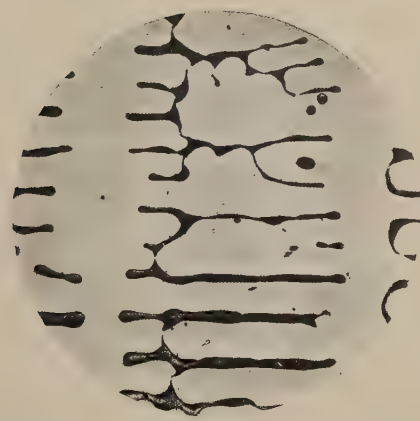
Correns.



1



2



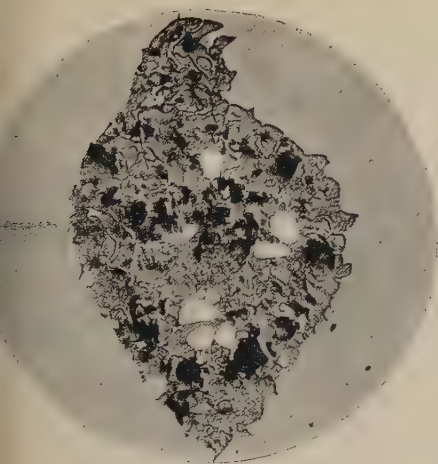
3



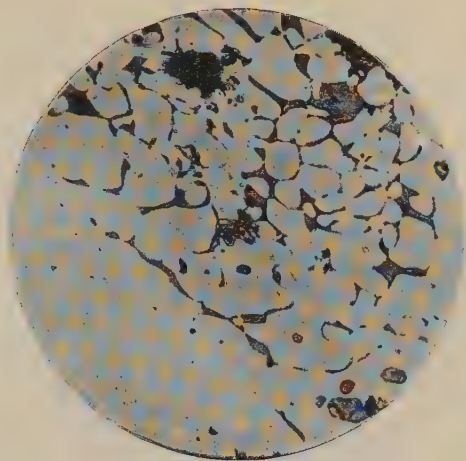
4



5



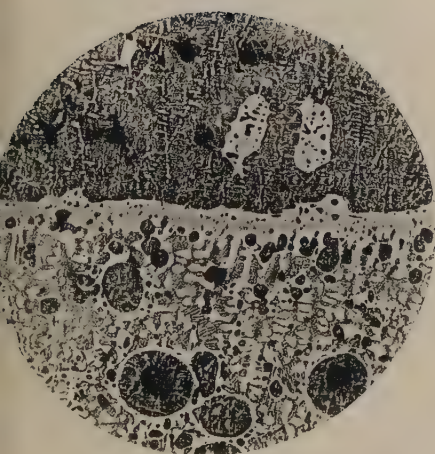
6



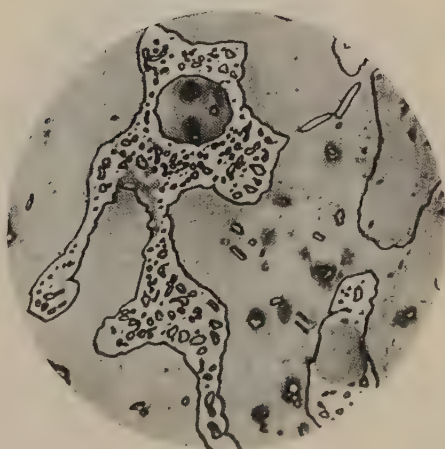
7



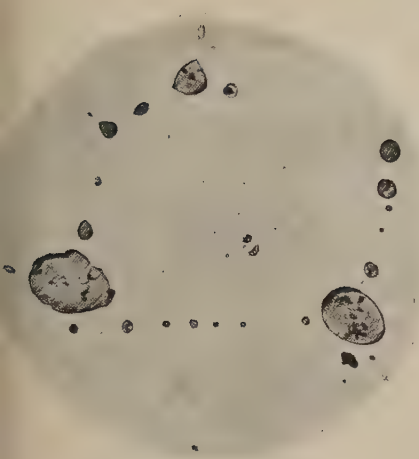
9



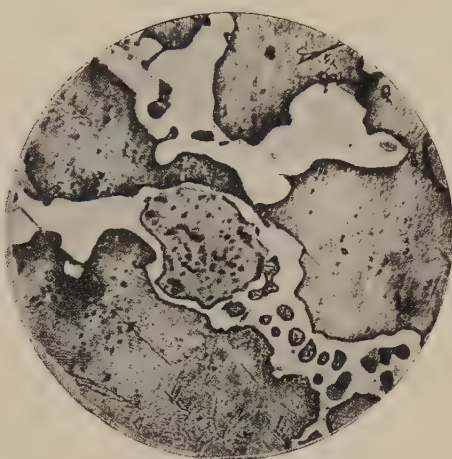
8



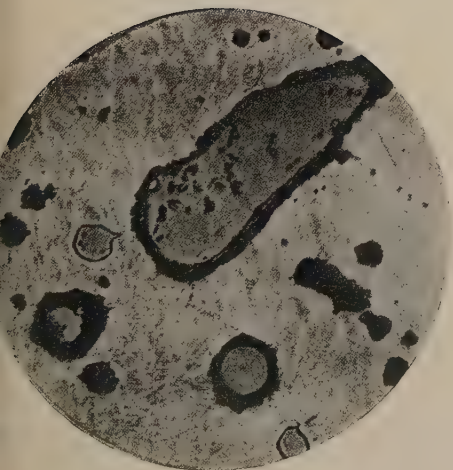
10



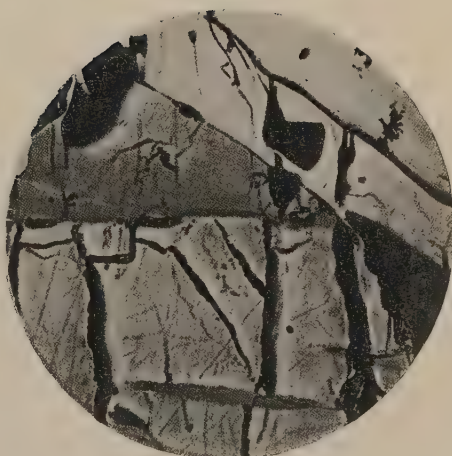
11



12



13



14

